

修 士 論 文 の 和 文 要 旨

研究科・専攻	大学院情報システム学研究科 情報メディアシステム学専攻 博士前期課程		
氏 名	甘楽 久美子	学籍番号	1350020
論 文 題 目	インテリジェント自動ドアにおける適切な開閉タイミングの検討		
<p>要 旨</p> <p>自動ドアは、ビルやスーパー、病院といったあらゆる建物の出入り口に設置されている。自動ドアのメリットとしては利便性の向上が挙げられるが、実際には素通りによる誤動作や反応が鈍いためにスムーズな通行が妨げられ、建物の空調効率を低下させる原因となる。</p> <p>そこで、本研究では、特にドア手前の停止や減速を無くし、スムーズな通行が行える適切な開きタイミングを明らかにし、その適切な開閉タイミングを実装した自動ドアを作成し、求めた開閉タイミングの検証を行うことを目的とした。</p> <p>まず、本研究で使用するための自動ドアシステムを作成した。このシステムでは三次元のレーザスキャナから得られるデータを用いて歩行者の検出を行い、歩行者の速度や大きさを測ることができる。また、任意のタイミングで開 / 閉 / 止をコントロールすることができる。</p> <p>次に、固定された自動ドアへの通過実験を行い、被験者がドア到達時に減速しないために必要な開口幅の条件を求めた。これにより、先行研究で定義した開きタイミングには速度に応じてオフセットを加える必要があることを確認した。</p> <p>また、実際に動く自動ドアを歩行者に通過してもらい、歩行速度を取得した。得られた歩行速度を減速と減速しないに分類した。この2つの領域を、SVMを用いて線形分離した。この分離境界線を歩行者が減速しない適切な開きタイミングとして求めた。</p> <p>さらに、歩行者が通過した後に直ちにドアを閉じるために、歩行者の幅から閉じタイミングを予測し、荷物を持った状態でも挟み込みが起こらない適切な閉じタイミングの検討を行った。</p> <p>最後に、求めた適切な開閉タイミングを実装したインテリジェント自動ドアと、従来の自動ドアとの比較実験を行い、従来の自動ドアよりスムーズな通行を行え、通過後はすぐに閉じ始めることを確認した。</p>			

平成 26 年度修士論文

インテリジェント自動ドアにおける 適切な開閉タイミングの検討

大学院情報システム学研究科
情報メディアシステム学専攻

学 籍 番 号 : 1350020
氏 名 : 甘楽 久美子
主任指導教員 : 工藤 俊亮 准教授
指 導 教 員 : 富沢 哲雄 助教
指 導 教 員 : 阪口 豊 教授
提出年月日 : 平成 27 年 2 月 27 日

目次

第1章 緒言	6
1.1 研究背景	6
1.2 関連研究	9
1.3 研究目的	11
1.4 論文構成	11
第2章 インテリジェント自動ドアの概要	12
2.1 適切な開閉タイミングの検討	12
2.1.1 インテリジェント自動ドアの開閉タイミングの要件	12
2.1.2 適切な開閉タイミングを求める手法の検討	13
2.2 インテリジェント自動ドアシステム	16
2.2.1 自動ドアのハードウェア構成	16
2.2.2 自動ドアの寸法	16
2.2.3 センサの概要	21
2.2.4 インテリジェント自動ドアのアルゴリズム	25
2.3 まとめ	27
第3章 適切な開口幅と開閉タイミング	28
3.1 実験準備	28
3.1.1 歩行速度と位置の取得	28
3.1.2 減速の定義	30
3.2 適切な開口幅	36

3.2.1	実験手順	36
3.2.2	実験結果	39
3.3	適切な開きタイミングの実験	46
3.3.1	実験手順	46
3.3.2	実験結果	47
3.4	適切な閉じタイミングの検討	53
3.5	まとめ	54
第4章	評価実験	55
4.1	開きタイミングの評価	55
4.2	閉じタイミングの評価	64
4.3	まとめ	67
第5章	結言	68
5.1	本研究のまとめ	68
5.2	今後の展望	69

目 次

1.1	従来の自動ドアの問題点	8
1.2	タッチセンサ	8
2.1	SVM による分離	15
2.2	扶桑電機工業株式会社 ドリーム自動ドア (DC-70)	17
2.3	自動ドア駆動回路	18
2.4	自動ドア駆動回路	19
2.5	作成した自動ドア	20
2.6	センサの外観	22
2.7	スキャンの軌跡	23
2.8	共振ミラー	23
2.9	投光ユニット	24
2.10	レーザーの走査軌跡	24
2.11	開き判定	26
3.1	歩行速度と位置の測定	29
3.2	取得した歩行速度	29
3.3	実験環境の図	38
3.4	適切な開口幅を求めるための実験概要図	38
3.5	被験者 1($w=0.45[m]$) の適切な開口幅を求めるための実験結果	41
3.6	被験者 2($w=0.59[m]$) の適切な開口幅を求めるための実験結果	42
3.7	被験者 3($w=0.59[m]$) の適切な開口幅を求めるための実験結果	43

3.8	被験者 4($w=0.51[m]$) の適切な開口幅を求めるための実験結果	44
3.9	被験者 5($w=0.57[m]$) の適切な開口幅を求めるための実験結果	45
3.10	被験者 1 の SVM 結果	49
3.11	被験者 2 の SVM 結果	49
3.12	被験者 3 の SVM 結果	50
3.13	被験者 4 の SVM 結果	50
3.14	被験者 5 の SVM 結果	51
3.15	被験者 6 の SVM 結果	51
3.16	適切な開きタイミング	52
3.17	ドア通過後の様子	53
4.1	被験者 1($w_x=0.59[m]$) の評価結果	58
4.2	被験者 2($w_x=0.59[m]$) の評価結果	59
4.3	被験者 3($w_x=0.53[m]$) の評価結果	60
4.4	被験者 4($w_x=0.57[m]$) の評価結果	61
4.5	被験者 5($w_x=0.53[m]$) の評価結果	62
4.6	歩行速度の変化	63
4.7	閉じタイミング実験環境の図	64
4.8	閉じタイミング実験結果 (荷物なし)	66
4.9	閉じタイミング実験結果 (荷物あり)	66

表 目 次

2.1 扶桑電機工業株式会社 ドリーム自動ドア (DC-70) 仕様	17
2.2 3D センサの仕様	22
2.3 共振ミラーの仕様	23
3.1 被験者 1 の通常の歩行時に生じる速度変化	31
3.2 被験者 2 の通常の歩行時に生じる速度変化	32
3.3 被験者 3 の通常の歩行時に生じる速度変化	33
3.4 被験者 4 の通常の歩行時に生じる速度変化	34
3.5 被験者 5 の通常の歩行時に生じる速度変化	35

第1章 緒言

1.1 研究背景

現在、自動ドアは利便性の向上や建物内の省エネ効果といったメリットからビルや病院、スーパーというように様々な建物の出入りに設置されている。従来の自動ドアは、出入り口上部に取り付けられた近接センサを用いて、観測エリア内にある物体の有無を判定し、自動ドアの開閉を行っている [1]。そのため、従来の自動ドアには以下の問題点が挙げられる。

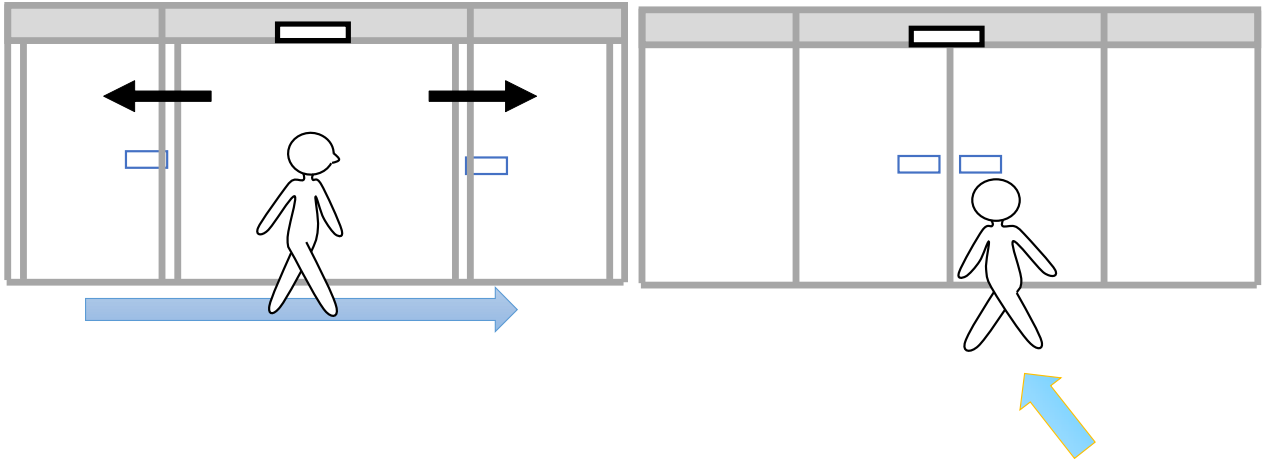
- 誤動作が起こる（図 1.1(a)）
- 反応が鈍い（図 1.1(b)）
- 開放時間が長い

1つ目の誤動作は、建物に入る意志のない歩行者が、自動ドアの前を横切った際にドアが開いてしまうことを指す。この問題は、歩道に面した建物の出入りに設置されている自動ドアの前を素通りする人が多いことでよく起こる問題である。2つ目の反応速度が鈍いとは、歩行者が自動ドアに近づいてもなかなか開かないために、歩行者がドアの手前で減速や停止をしてしまうことを指す。これは、センサの感度が低かったり、センサの観測範囲が狭く歩行者を認識しづらい状況で起こる問題である。3つ目の開放時間が長いとは、歩行者通過後にドアが閉まり始めるまでの時間が長いことを指している。これは一般的に歩行者の通過後は、一定時間ドアを開放するため、建物内の空調効率を低下させていると考えられる。

1つ目の問題の対策として、近接センサの観測範囲を狭めたり、タッチセンサを用いたりする方法がある。しかし、これらの方法は自動ドアの前で減速や停止する必要があるため、本来のメリットである利便性を低下させてしまう。そこで、通過する歩行者のみに適切な開

きタイミングでドアを開き、歩行者通過後、直ちにドアを閉じる自動ドアが実現できればより便利になると考えられる。

本研究グループでは、上記の問題を解決するインテリジェント自動ドアの開発を行っている。先行研究では、センサに三次元レーザスキャナを採用し、歩行者の向きや速度から素通りによる誤動作の防止や速度に応じた開きタイミングの制御ができるようになった。しかし、歩行者がスムーズな通行を行うための条件、例えば、ドア到達時に必要なドアの開口幅やドアを開き始めるタイミングは求められていない。本研究では、これらの歩行者が減速せずにスムーズな通行を行うための条件を明らかにし、インテリジェント自動ドアの実機を作成し、求めた開閉タイミングの検証を行う。



(a) 素通りに対する誤動作

(b) 反応が鈍い

図 1.1: 従来の自動ドアの問題点



図 1.2: タッチセンサ

1.2 関連研究

自動ドアに関する研究には、従来の自動ドアに付加価値をつける研究と、現状の問題を解決するための研究がある。

従来の自動ドアに付加価値をつける研究とは、入退室の管理や共連れ検知などの機能を指す。保坂らは UHF 帯 RFID タグを使用することでスタッフのみを検知し、医療施設内の進入制限のある場所への患者の立ち入りを管理できるようになった [2] [3]。また、杉本は同様に RFID 技術を用いて、ID カードをかざさずに入退室が行えるシステムを構築した [4]。李らは、マルチターゲットモデルとカルマンフィルタによる人物推定を行い、実環境で共連れ検知システムの有効性を示した [5] [6]。

現状の問題を解決するための研究としては、建物内の空調効率に関する研究が行われている。伊東らの一連の研究では、自動ドア開閉時の風速を測定することで外気進入量を算出し、省エネルギー性能を向上させる自動ドアの検討を行っている [8]。本江らの一連の研究では、従来のセンサの感知範囲を 2 倍広く設定し、歩行者の向きや速度を検出することで素通りによるドアの無駄な開放時間を削減した。また、シミュレーション結果から建物内の空調効率の稼働率を低下させることが可能であることを示した [9] [10] [11]。

上記以外にも、自動ドアに関する研究としては、人物検出や実環境データを基に学習を行った自動ドアシステムの構築、自動ドアを通過するときの歩行者の行動特性を研究したものがある。三宅らはドア上部に設置した CCD カメラによりドア付近の画像を取得し、色空間の距離情報から移動体と静止物体の判定を行っている [12]。また、石堂らは、既存の赤外センサを複数台用いて取得した自動ドア付近の歩行者の動きを遺伝的プログラミングにより歩行者の歩行パターンを学習させることで、環境から学習する自動ドアシステムをシミュレーションにより構築している [13]。若井らは、実環境の自動ドアから歩行者の通過行動特性を調査し、ドアの開き始めるタイミングが歩行者の動作に影響を与えることを示した [14]。

また、自動ドア以外にも公共空間の人物検出や追跡、行動予測に関する研究は数多く行われている。柴崎らの一連の研究では、複数台のレーザスキャナを床上に設置し、実環境において群衆の追跡や流動の可視化、通過人数の自動計測を可能にした [15] [16] [17] [18] [19] [20]

[21] [22]。倉爪らは、分散カメラとレーザスキャナを組み合わせ、さらに2種類のパーティクルフィルタを使用することで複数の移動物体の同時追跡を実現している [23] [24] [25]。萩田らの研究では、複数台のレーザスキャナとパーティクルフィルタを用いて人物追跡を行い、SVM(サポートベクタマシン) から人の行動推定を行うことで商業施設においてロボットがサービスを提供できるシステムを開発した [26] [27]。浅間らは、歩行パターンに隠れマルコフモデルを用いてモデル化し、歩行者の目的地の推定を行った [28] [29]。

このように、人物検出やトラッキング手法の研究は数多くなされているが、直接自動ドアに関連のある研究は少ない。

本研究グループの先行研究では、インテリジェント自動ドアの研究 [30] [31] [32] [33] [34] と、三次元レーザスキャナを用いた人数カウンタの研究 [35] [36] がある。

松原と大谷は、二次元のレーザスキャナを1[m]の高さに設置して歩行者の位置や向き、速度を推定し、歩行者の素通りによる誤動作に対応した。シミュレータを用いた実験結果から、一人の歩行者の素通り検出の精度を向上させた。しかし、平面に二次元のレーザスキャナ設置しているため、歩行者が複数いた場合にはオクルージョンが発生し、歩行者の位置や向き、速度の推定が困難となり、素通りによる誤動作が起きていた。そのため、西田は三次元のレーザスキャナを上部に設置することでこの問題を解決し、複数の歩行者がいた場合にも素通りによる誤動作をなくした。しかし、軽量なアルゴリズムを追求したため、素通りの歩行者と進入する歩行者が同時にエリア内に存在するとき、素通り防止の pending zone により、定義した開きタイミングよりも遅れて開いていた。

また、インテリジェント自動ドアにおける速度に応じた開きタイミングの制御に関して、松原は歩行者がドア到達時に体の幅にマージンを加えた分、西田は歩行者の幅分だけ開き終わるようなタイミングでドアを開き始めた。

これらの結果は、従来の自動ドアの問題であった素通りによる誤動作を減らし、性能向上を果たした。しかし、以下の課題も残っている。

- 性能評価をシミュレータ上で行っているため、実機による実証実験を行っていない
- ドア到達時に必要な開口幅が求められておらず、歩行者が減速せずに通過できる適切

な開きタイミングが求められていない

- 歩行者通過後は従来の自動ドアと同様の設定となっているため、無駄な開放時間が発生している

先行研究では、いずれも実機実験は行われておらず、また具体的な開きタイミングの条件については触れられていない。

1.3 研究目的

本研究では適切な開閉タイミングを被験者実験により明らかにし、実際に実機実験を通して歩行者が減速せずに通過できているか、通過後直ちにドアが閉じているか評価を行うことを目的とする。具体的には、固定したドアを通過した際に歩行者が不快に感じないドアの開き幅を求めることで、ドア到達時に開く必要のある最低限の幅を求める。次に、開きタイミングを変更した際のドア手前での歩行速度を観測し、減速しない開きタイミングを求め、歩行者の通過後、直ちにドアを閉める。最後に、被験者実験から求めた開閉タイミングを搭載したインテリジェント自動ドアを作成し、実機実験を行う。これらを実現することで、歩行者がストレスを感じずに通行でき、かつ、建物の省エネ効果が期待できる。

1.4 論文構成

本論文の構成は、次の通りである。2章では、適切な開き幅や開閉タイミングの検討方法や今回使用する自動ドアシステムについて述べる。3章では、被験者実験を通して実際に適切な開き幅や開閉タイミングを求める。4章では、3章で求めた開閉タイミングを作成した自動ドアに実装し、評価を行う。最後に5章では、本論文のまとめを述べる。

第2章 インテリジェント自動ドアの概要

本章では、インテリジェント自動ドアの開閉タイミングに必要な要件を挙げながら、インテリジェント自動ドアにおける適切な開閉タイミングとその導出方法について検討する。また、今回実験や最終的なインテリジェント自動ドアとして使用するために作成した自動ドアシステムについて述べる。

2.1 適切な開閉タイミングの検討

本節では、インテリジェント自動ドアの開閉タイミングの要件を挙げ、適切な開閉タイミングを求めるための手法について述べる。

2.1.1 インテリジェント自動ドアの開閉タイミングの要件

インテリジェント自動ドアの開閉タイミングは以下の要件を満たす必要がある。

- 歩行者が減速せず、かつ不快に感じずにスムーズに通過できる
- 建物内の空調効率を維持できるようにできるだけ閉じ状態を保つ

従来の自動ドアの開きタイミングと比較した場合、1つ目の条件は速度の速い歩行者でもドアの前で減速させずに通過できるタイミングで開く必要があることを示している。2つ目の条件は、できるだけドアを閉じた状態に保ち、通過した後は直ちにドアを閉じることを示している。しかし、できるだけドアが閉じた状態を保つと、従来の自動ドアよりも開くタイミングがさらに遅くなるため、恐怖心から減速してしまうのではないかと考えられる。つまり、不快感を与えないことと、開時間を長くすることはトレードオフである。

本研究では、特に減速という観点から上記の要件を満たすような開きタイミング、つまり、歩行者の減速が始まる前にドアを開き始めるタイミングを適切な開きタイミングと定義する。この開きタイミングを体の幅や歩行者の速度を用いた式で表し、通過後は直ちにドアを閉じ始めるような適切な閉じタイミングのアルゴリズムを検討する。

2.1.2 適切な開閉タイミングを求める手法の検討

本項では最終的に適切な開きタイミングを式として求めるために必要なパラメータとその条件を求めるための手法について検討する。

自動ドアの開きタイミングは、歩行者の速度や体の幅に依存して変化するのではないかと考えられる。これは、同じタイミングでドアを開き始めた場合に、歩行者が最低限通れる幅が開くまでドアの前で待つ必要があるからである。このことを踏まえ、歩行者の速度や体の幅が開閉タイミングに与える条件を求めるための手順を示す。

1. 歩行者が減速しない開口幅を求める
2. 歩行者が減速しない開きタイミングを求める
3. ドアを通過する歩行者がいなくなった瞬間を検出する

1つ目は、歩行者の速度や幅から適切な開口幅を求めることにより、歩行者が恐怖感や減速を生じさせにくい条件を明らかにすることを目的としている。ここでいう適切な開口幅とは、歩行者が減速せずに通過できるドアの幅である。先行研究では、松原はドア到達時に歩行者の幅よりも少し多めに開き終わっているのに対し、西田はドア到達時にちょうど身体の幅が開き終わっているとしていた。しかし、どれくらいの開口幅があればスムーズに通過できるかについては言及されていない。

2つ目は、実際に動く自動ドアを使い、歩行者が減速しないドアの開き始めるタイミングを求めることを目的としている。実験を通して速度に応じた開きタイミングを求め、先行研究の開きタイミングとの比較を行い、より適切な開きタイミングを求める。

3つ目は、歩行者が通過し終わった瞬間を検出したら直ちにドアを閉じ始めることを目的としている。

適切な開口幅と開きタイミングを求める方法は、共に歩行者の速度変化を観測し、しきい値に応じてドア手前で減速したか否かを判断する。観測した速度変化をもとに歩行者の速度と開口幅 (開きタイミング) の関係を図 2.1 のようにプロットし、減速と減速しない2種類の領域に SVM を用いて分離する。この分離した境界線が速度に応じた減速しない開口幅 (開きタイミング) となる。

次に、適切な閉じタイミングについては、歩行者がドアを通過し終わった瞬間を検出する必要がある。後述するが、今回実験で使用するインテリジェント自動ドアのシステムは、先行研究である松原のアルゴリズムを参考にする。松原のアルゴリズムでは開き判定に交差判定を用いていたが、この交差判定が解除されてからドアを閉じる。

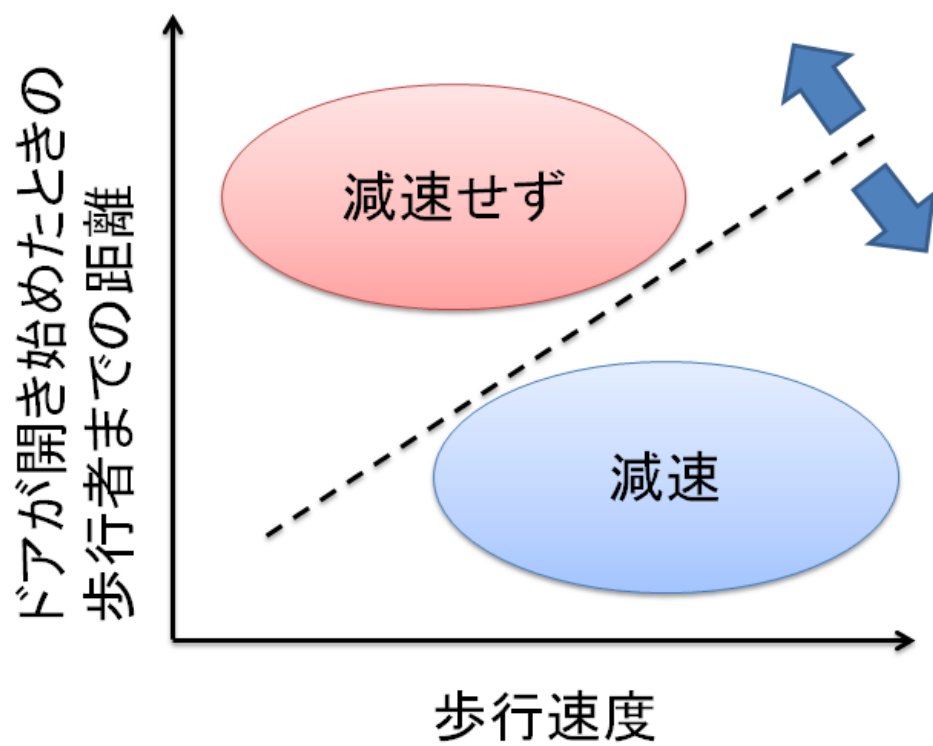


図 2.1: SVM による分離

2.2 インテリジェント自動ドアシステム

本節では、インテリジェント自動ドアを実現するために作成した実機システムについて述べる。

2.2.1 自動ドアのハードウェア構成

インテリジェント自動ドアの実機の仕様で従来の動作と異なるのは、動作途中で別の動作に移る点である。これは、前節で挙げた要件2で歩行者がドアを通過した後、直ちにドアを閉じ始めるためである。今回従来の自動ドアの駆動部分を用いてこの機能を実現するために、開閉途中でドアを停止させることで2つの動作を反転させる。従来の自動ドアの仕様として、安全上開き命令が発行されている間に閉じ命令が発行されても閉じ始めることがなく、開き命令が出ている間に停止命令が発行されると自動ドアは停止し、停止後は再び開き命令を送ると開き、閉じ命令を送ると閉じ始める。そのため、自動ドア駆動部分の選定には、自動ドアの動作設定に「開」「閉」の他に「停止」があるものを選定する。今回自動ドア駆動部分には、扶桑電機工業株式会社のドリーム自動ドア (DC-4-SSOL/DC-70, CONTROL UNIT BL-1000) を使用する。駆動部分を図 2.2 に、使用を表 2.1 [37] に示す。

次に、「開」「閉」「停止」の動作を切り替えるためのスイッチを作成する。自動ドアは、行いたい動作の回路を A 接点接続することで動作する。ここでは、フォトトランジスタ (TLP521) とマイコン (mbed) を図 2.3、図 2.4 のように組むことで3つの動作の切り替えを行えるようにした。

2.2.2 自動ドアの寸法

今回作成する自動ドアのドア寸法は、標準的なサイズのもの [38] を使用する。標準的なドアの寸法は横 $DW = 914[\text{mm}]$ 、高さ $DH = 2134[\text{mm}]$ である。このドア寸法をもとに自動ドアの外枠を作成し、前節の駆動回路を設置した自動ドアを図 2.5 に示す。

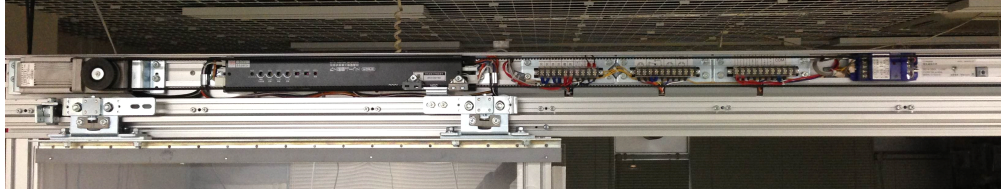


図 2.2: 扶桑電機工業株式会社 ドリーム自動ドア (DC-70)

表 2.1: 扶桑電機工業株式会社 ドリーム自動ドア (DC-70) 仕様

項目	片引	両引
適用扉質量	50[kg] 以下 × 1 枚	35[kg] 以下 × 2 枚
開閉速度	165[mm/s]～500[mm/s](可変)	
閉じ力	120[N] 以下	150[N] 以下
電源	AC100[V] ±10[%] 50/60[Hz] 5[A]	
平均消費電力	100[W]	
絶縁抵抗	DC500[V] 10[MΩ] 以上	
絶縁耐圧	AC1000[V] 1 分	
駆動方式	40[W] DC ブラシレスモータ 歯付ベルト駆動	
手動開閉力	100[N] 以下	
解法停止時間	0～15[sec] 可変式	

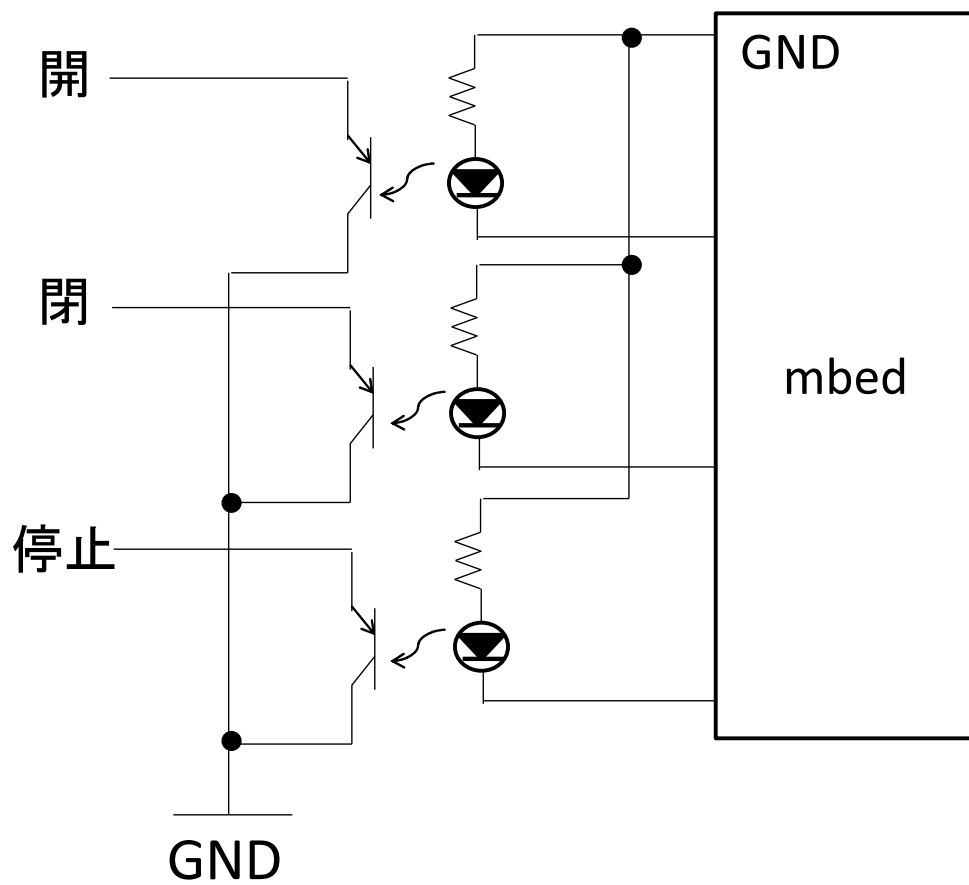


図 2.3: 自動ドア駆動回路

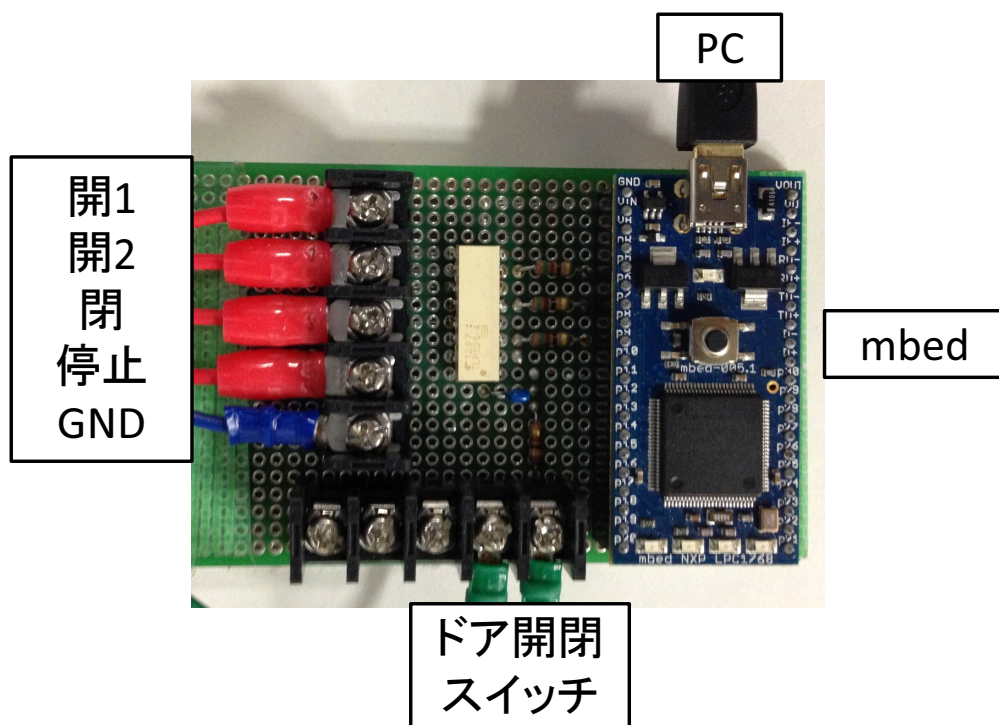


図 2.4: 自動ドア駆動回路

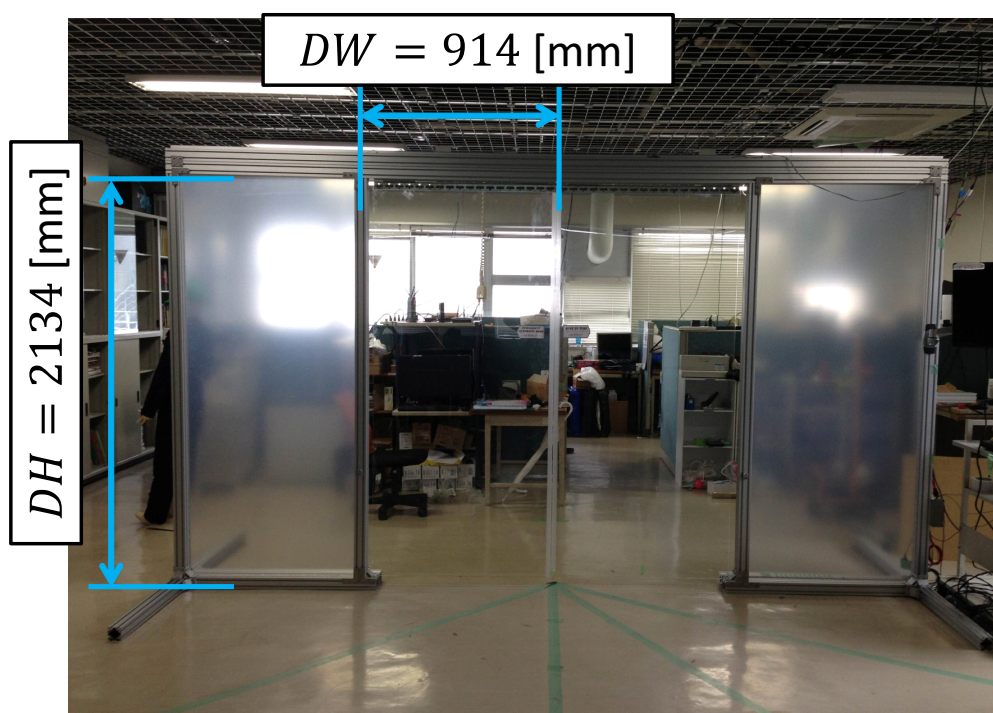


図 2.5: 作成した自動ドア

2.2.3 センサの概要

本研究では北陽電機株式会社がドアセンサとして開発中のセンサを用いる。センサの外観を図 2.6 に、仕様を表 2.2 に示す。このセンサはレーザを二次元に走査し、TOF 方式を用いて対象物までの距離を測定する三次元のレーザスキャナである。

センサはドア上部に取り付けることを想定している。取り付け高さが 3500[mm] の場合、有効検出範囲は横方向に約 5000[mm]、奥行方向に 3000[mm] となる。センサからはレーザの投射角度と対象物までの距離データが得られ、5440 [本] 分のデータを 10[Hz] で取得できる。このデータはスキャンの片道分ずつ受け取ることもでき、その場合は 2720 本のデータを 20 Hz で取得する。実際にセンサから取得したデータを図 2.7 に示す。この図の赤色の点がいるスキャンの往路、青色の点が復路を表している。

距離の計測はパルス発光による TOF (Time of Flight) を用いている。TOF 方式はレーザを投射した時刻と物体に反射して返ってきた時刻との時間差から距離を計測する方式であり、このセンサではパルス発光方式を採用している。

センサの走査ユニットは高速に振動するミラーと低速に振動するミラーの 2 種類で構成されている。レーザはこれらのミラーに反射して監視領域へ投射される。共振ミラーの形状を図 2.8 に、仕様を表 2.3 に示す。レーザー光は投受光ユニット部のミラーで 90 度に曲げられ、2 個の共振ミラーにより二次元に走査される。検出物に当たって返ってきた光は、両ミラーを経由して、受光ユニットに導かれる。投受光は同軸光学系で、ミラーにより光学的に分離されている。投光ユニットの外観を図 2.9 に、レーザーの走査軌跡を図 2.10 に示す。

本センサは TOF を使った同軸光学系のため、太陽光等の強い光が直接入っても計測に影響せず、200000[lx] の環境でも使用できる。さらにマルチエコー技術によるソフトウェアフィルタにより、光学面についた水滴や雪、雨による反射光、多数台設置したときの相互干渉光などを除去できる。この技術と共振ミラーを 2 つ組み合わせた走査系を採用することで、比較的小型で安定性があり環境に強い、ロバスト性が高いセンサが実現されている。

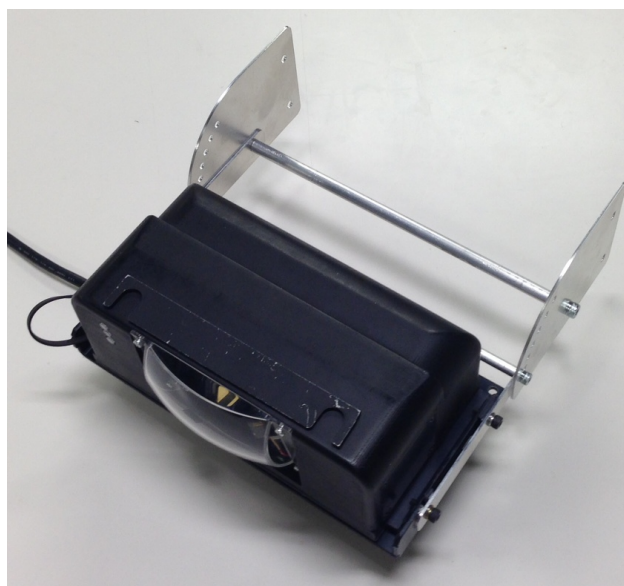


図 2.6: センサの外観

表 2.2: 3D センサの仕様

Specification	
Optical source	laser diode
Measuring	TOF (Pulse Modulated Signals)
Scanning device	Resonant Mirror
Horizontal Range	72 deg
Vertical Range	42 deg
Frame Rate	10 Hz
Observation Points	5440 points/frame
Temperature Resistance	-20 ~ 50 °C
Size [mm]	127(H)×230(L)×83(W)

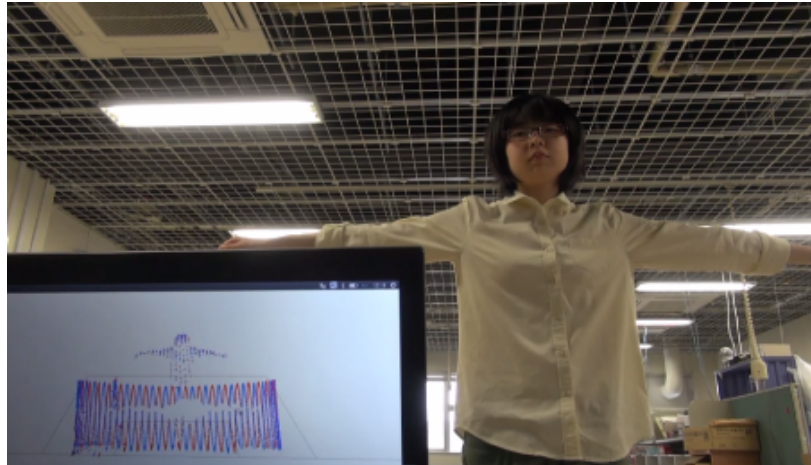


図 2.7: スキャンの軌跡

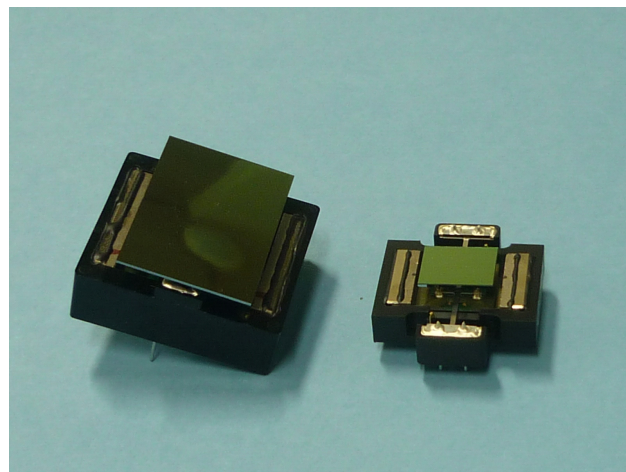


図 2.8: 共振ミラー

表 2.3: 共振ミラーの仕様

	low-speed mirror	high-speed mirror
Resonant frequencies	12.7 Hz	387 Hz
Hinge material	silicon rubber	SUS t=0.25
Q	4.4	78
Mirror	22 × 20 Au mirror	12 × 10 Au mirror

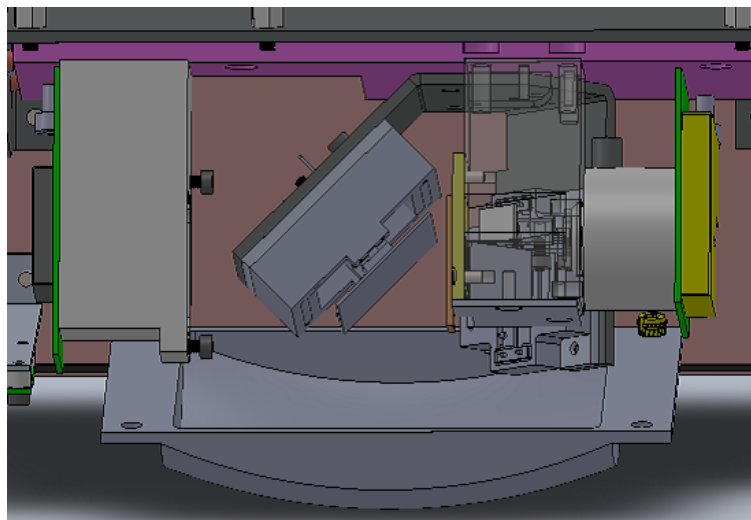


図 2.9: 投光ユニット

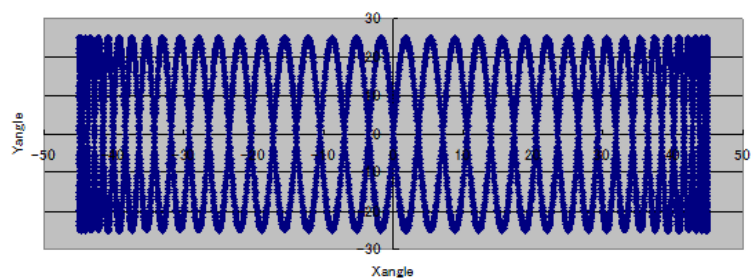


図 2.10: レーザーの走査軌跡

2.2.4 インテリジェント自動ドアのアルゴリズム

本節では、作成した自動ドアに搭載するインテリジェント自動ドアのアルゴリズムについて説明する。

まず、歩行者の向き、速度の推定方法について説明する。松原は、二次元のレーザセンサをドア手前の両端、高さ 1[m] の位置に設置し、歩行者の向きや速度を推定していた。しかし、二次元のセンサでは、歩行者が多い場合にはオクルージョンが発生し、歩行者の検出やがうまく行えないことがあった。この問題の対策として、西田は上部に設置した三次元のレーザスキャナを使用して、歩行者の向きや速度を推定した。しかし、西田はマイコンで処理できる軽量なアルゴリズムを実装することを目的としたため、取得した三次元データを二次元におとし、分割した観測エリアを各エリアで歩行者の有無や速度の推定を行っていた。

本研究では、三次元センサのデータをそのまま使用し、歩行者の向きや速度を推定する方法を用いる。今回、三次元データから歩行者の向きや速度を推定する方法には、赤松のカルマンフィルタを用いた人物トラッキングアルゴリズムを使用する [36]。これは、三次元データを高さが高い順にグルーピングすることで人物検出を行い、カルマンフィルタでトラッキングする歩行者の位置は歩行者頭部の重心を用いることで歩行者の向きや速度を推定している。

次に、取得した歩行者の位置や向き、速度から自動ドアの開きタイミングを制御する方法について説明する。西田のアルゴリズムは、素通りの歩行者が pending zone を発生させるため、歩行者が複数いる場合にはこの pending zone の影響を受け、歩行者の開きタイミングに遅れが生じることがあった。そこで本研究では、素通り中にも開きタイミングが遅れることのないアルゴリズムとして松原のアルゴリズムを参考に関きタイミングを設定する。このアルゴリズムは、予測した歩行経路から速度に応じた開きタイミングをベクトルで表し、ドアのベクトルと開きタイミングのベクトルが交差した際にドアを開き始める (図 2.11(a))。すなわち図 2.11(b) のような補助線を引いたとき、外積が以下の条件を満たすときに開き命令を出す。

[交差する場合]

$m_1 m_2 < 0$ かつ $m_3 m_4 < 0$ を満たすとき

$$m_1 = \alpha \vec{v} \times \vec{p}_1 < 0 \quad (2.1)$$

$$m_2 = \alpha \vec{v} \times \vec{p}_2 > 0 \quad (2.2)$$

$$m_3 = \vec{d} \times \vec{p}_3 < 0 \quad (2.3)$$

$$m_4 = \vec{d} \times \vec{p}_4 > 0 \quad (2.4)$$

[交差しない場合]

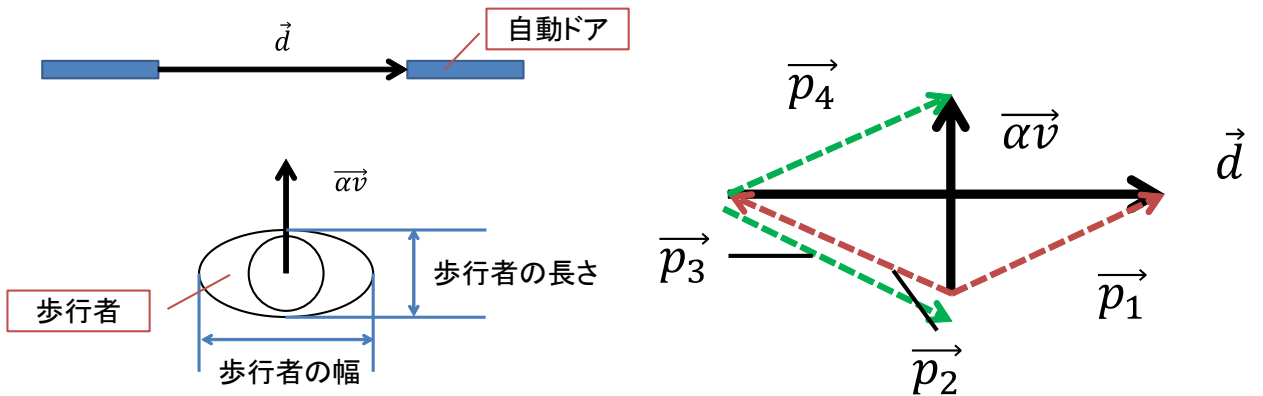
上記の交差条件を満たさないとき

$$m_1 = \alpha \vec{v} \times \vec{p}_1 < 0 \quad (2.5)$$

$$m_2 = \alpha \vec{v} \times \vec{p}_2 > 0 \quad (2.6)$$

$$m_3 = \vec{d} \times \vec{p}_3 < 0 \quad (2.7)$$

$$m_4 = \vec{d} \times \vec{p}_4 < 0 \quad (2.8)$$



(a) 開き判定の概要図

(b) 外積の交差判定

図 2.11: 開き判定

2.3 まとめ

本章では、インテリジェント自動の適切な開閉タイミングについて説明し、開きタイミングを歩行者の速度や体の幅を用いた式で表すための条件を求める手法を検討した。また、本研究で使用する自動ドアシステムについて述べた。2.1 節では、インテリジェント自動ドアにおける開閉タイミングの要件を示し、適切な開閉タイミングのパラメータとなる歩行者の幅や速度の条件を求めるための手法を提示した。2.2 節では、インテリジェント自動ドアの仕様をもとにインテリジェント自動ドアを実現できる自動ドアシステムを作成した。また、今回のシステムだけでなく、先行研究のシステムも使用可能な汎用できる自動ドアを作成した。

第3章 適切な開口幅と開閉タイミング

本章では、適切な開閉タイミングを歩行者の速度や体の幅のパラメータを用いて表現するために、各パラメータが開きタイミングに与える条件を求める。まず、固定されたドアを通過することで歩行者の速度や幅から適切な開口幅を求める。これにより、歩行者が速度に応じてドアへの恐怖感や減速を生じさせる条件を被験者実験を通して明らかにし、ドア到達時に必要な開口幅を求める。次に、動く自動ドアの開き始めるタイミングをランダムに変化させた場合の実験を行い、固定されたドアを通ったときとの減速するタイミングの比較を行う。最後に歩行者通過後の閉じタイミングの検討を行う。

3.1 実験準備

本節では、次節の被験者実験 (適切な開口幅、開きタイミング) で使用する歩行速度の取得方法と減速の定義について述べる。

3.1.1 歩行速度と位置の取得

歩行者の位置と速度は、北陽電機社製 UTM-30LX [39] を用いて計測する。センサは腰の高さ約 90[cm] に設置し、歩行者の後方から観測する (図 3.1)。速度は、3 本のレーザの距離と時間を平均し、そのデータ 10 点に最小二乗法を用いて算出している。実際に計測した歩行速度の結果を図 3.2 に示す。図 3.2 より、取得される歩行速度は山と谷を持った波形で表示される。これは、人が歩行する際に足の入れ替えを行うためである。今回、この歩行速度の谷の部分 (以降、これを歩行速度とする) に着目する。

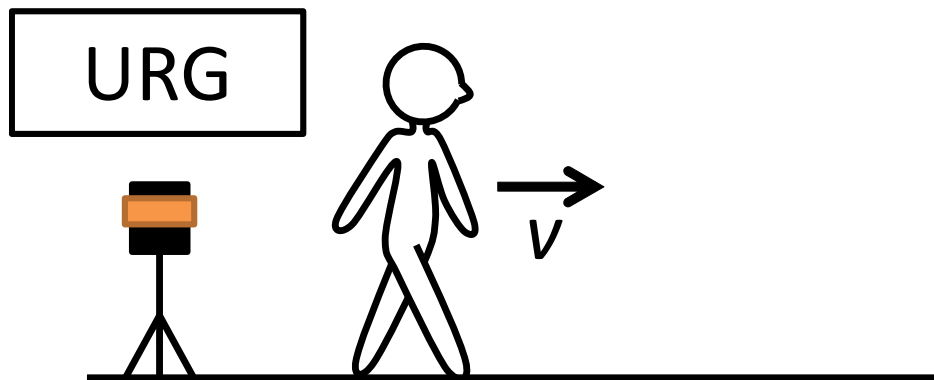


図 3.1: 歩行速度と位置の測定

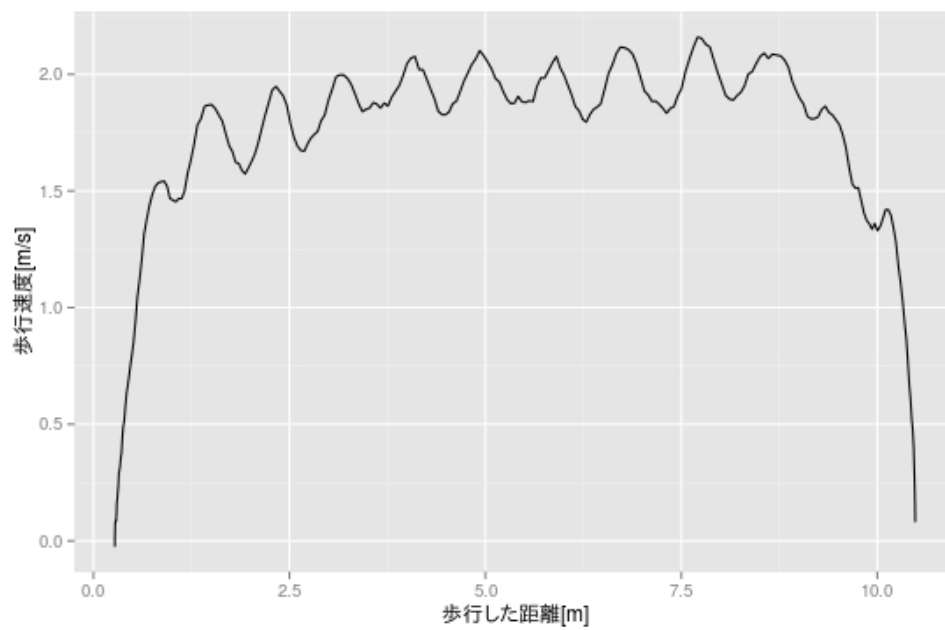


図 3.2: 取得した歩行速度

3.1.2 減速の定義

前項では、歩行速度の取得方法について述べた。以降の開口幅と開きタイミングの実験では、ドア通過までの歩行者の速度を観測し、観測した歩行速度の変化をしきい値をもとに減速した幅(タイミング)と減速せずに通過できた幅(タイミング)に分ける必要がある。ここでは、通常の歩行時の歩行速度を観測し、歩行中に生じる速度変化をもとに減速と判定するためのしきい値を決定する。

今回、20代の男性5人に12[m]の距離を「速い」「普通」「遅い」の速度で各10回歩行してもらった。定速中(4.0~7.5[m/s])の最高速度と最低速度、そのときの速度変化として、最高速度と最低速度の差と、その差を最高速度で割った割合(率)を表3.1~表3.5に示す。被験者4の速度「速い」の試行6は、データが途中で切れてしまっていたため、この結果は除いている。まず、同じ被験者の3種類の歩行速度変化を比較する。表の速度変化の差をみると、歩行速度を変えた場合でも速度変化の違いは約0.0300[m/s](最大で0.0590[m/s])となっているのに対し、速度変化の割合(率)をみると、歩行速度によって約0.1変わることがわかる。次に、被験者同士を比較すると、歩行速度変化の差は、厳密には異なるがほとんどの被験者が約0.150[m/s]前後であることがわかる。速度変化の割合(率)をみると、特に速度が遅いときに約0.1の違いが生じる。

以上より、速度変化の大きさは、差を取ると速度に応じた違いが小さく、割合(率)を取ると速度に応じて減速の定義を変える必要があるため、今回減速の定義は速度変化の差が0.150[m/s]より大きい場合を「減速」、0.150[m/s]以下の場合を「減速していない」と定義する。

表 3.1: 被験者 1 の通常の歩行時に生じる速度変化

	No.	最高速度 [m/s]	最低速度 [m/s]	速度変化 (差)	速度変化 (率)
速い	1	1.83	1.64	0.188	0.102
	2	1.63	1.51	0.119	0.0731
	3	1.64	1.55	0.0925	0.0563
	4	1.57	1.40	0.169	0.108
	5	1.61	1.50	0.114	0.0707
	6	1.61	1.46	0.149	0.0926
	7	1.73	1.58	0.152	0.0879
	8	1.75	1.61	0.139	0.0798
	9	1.64	1.55	0.0961	0.0585
	10	1.73	1.53	0.205	0.118
	平均	1.67	1.53	0.142	0.0848
普通	1	1.25	1.11	0.132	0.106
	2	1.48	1.25	0.226	0.153
	3	1.38	1.24	0.137	0.100
	4	1.32	1.16	0.155	0.118
	5	1.39	1.18	0.216	0.156
	6	1.34	1.19	0.157	0.117
	7	1.29	1.14	0.150	0.116
	8	1.29	1.14	0.150	0.116
	9	1.36	1.20	0.159	0.117
	10	1.31	1.12	0.192	0.147
	平均	1.34	1.17	0.168	0.124
遅い	1	0.935	0.789	0.146	0.156
	2	1.08	0.985	0.0990	0.0914
	3	1.09	0.953	0.138	0.126
	4	1.07	0.924	0.151	0.140
	5	0.908	0.755	0.153	0.168
	6	0.944	0.790	0.154	0.163
	7	0.990	0.879	0.111	0.113
	8	0.942	0.773	0.169	0.179
	9	0.860	0.790	0.0703	0.0817
	10	0.869	0.716	0.153	0.176
	平均	0.970	0.835	0.134	0.139

表 3.2: 被験者 2 の通常の歩行時に生じる速度変化

	No.	最高速度 [m/s]	最低速度 [m/s]	速度変化 (差)	速度変化 (率)
速い	1	1.86	1.82	0.0322	0.0173
	2	1.84	1.79	0.0526	0.0285
	3	1.95	1.73	0.2229	0.114
	4	1.93	1.84	0.0926	0.0480
	5	1.89	1.77	0.119	0.0631
	6	1.80	1.76	0.0366	0.0204
	7	1.78	1.65	0.136	0.0761
	8	1.97	1.90	0.0638	0.0324
	9	1.90	1.81	0.0900	0.0473
	10	1.93	1.84	0.0852	0.0442
	平均	1.89	1.79	0.0931	0.0491
普通	1	1.52	1.41	0.113	0.0746
	2	1.53	1.40	0.129	0.0845
	3	1.53	1.44	0.0864	0.0566
	4	1.51	1.48	0.0330	0.0218
	5	1.50	1.45	0.0573	0.0381
	6	1.58	1.45	0.133	0.0838
	7	1.55	1.48	0.067	0.0431
	8	1.60	1.41	0.186	0.117
	9	1.57	1.49	0.0825	0.0524
	10	1.54	1.42	0.119	0.0773
	平均	1.54	1.44	0.101	0.0649
遅い	1	1.19	1.07	0.116	0.0974
	2	1.11	1.02	0.0949	0.0853
	3	1.09	1.04	0.0531	0.0485
	4	1.07	0.945	0.122	0.114
	5	1.05	0.956	0.0956	0.0909
	6	1.02	0.962	0.0621	0.0606
	7	0.984	0.935	0.0497	0.0505
	8	0.937	0.871	0.0657	0.0701
	9	0.978	0.905	0.0732	0.0748
	10	0.989	0.899	0.0900	0.0911
	平均	1.04	0.961	0.0822	0.0784

表 3.3: 被験者 3 の通常の歩行時に生じる速度変化

	No.	最高速度 [m/s]	最低速度 [m/s]	速度変化 (差)	速度変化 (率)
速い	1	1.40	1.25	0.152	0.109
	2	1.33	1.23	0.103	0.0769
	3	1.57	1.42	0.143	0.0915
	4	1.47	1.37	0.0986	0.0672
	5	1.52	1.44	0.0833	0.0547
	6	1.62	1.46	0.162	0.100
	7	1.56	1.43	0.122	0.0782
	8	1.61	1.37	0.236	0.147
	9	1.52	1.43	0.0933	0.0614
	10	1.50	1.35	0.143	0.0955
	平均	1.51	1.37	0.139	0.0918
普通	1	1.26	1.12	0.143	0.113
	2	1.24	1.12	0.115	0.0931
	3	1.18	1.10	0.0763	0.0649
	4	1.16	1.02	0.142	0.122
	5	1.11	1.00	0.107	0.0969
	6	1.19	1.03	0.155	0.131
	7	1.15	1.01	0.144	0.125
	8	1.20	1.04	0.159	0.133
	9	1.14	1.07	0.0709	0.0622
	10	1.15	1.04	0.112	0.0971
	平均	1.18	1.05	0.122	0.104
遅い	1	1.04	0.865	0.174	0.167
	2	1.01	0.846	0.168	0.165
	3	0.913	0.858	0.0554	0.0606
	4	0.952	0.854	0.0973	0.102
	5	0.878	0.816	0.0616	0.070
	6	0.949	0.847	0.102	0.107
	7	0.902	0.771	0.131	0.145
	8	0.819	0.735	0.0840	0.103
	9	0.852	0.775	0.0769	0.0903
	10	0.893	0.813	0.0796	0.0892
	平均	0.921	0.818	0.103	0.110

表 3.4: 被験者 4 の通常の歩行時に生じる速度変化

	No.	最高速度 [m/s]	最低速度 [m/s]	速度変化 (差)	速度変化 (率)
速い	1	1.84	1.73	0.109	0.0591
	2	1.86	1.60	0.262	0.141
	3	1.80	1.60	0.203	0.113
	4	1.74	1.63	0.110	0.063
	5	1.79	1.55	0.246	0.137
	6	取得失敗			
	7	1.81	1.63	0.185	0.102
	8	1.82	1.74	0.0797	0.0438
	9	1.77	1.62	0.143	0.0810
	10	1.76	1.63	0.134	0.0759
	平均	1.80	1.65	0.153	0.0851
普通	1	1.48	1.32	0.155	0.105
	2	1.41	1.32	0.0859	0.0610
	3	1.42	1.21	0.209	0.147
	4	1.32	1.26	0.0544	0.0414
	5	1.47	1.41	0.0579	0.0395
	6	1.36	1.18	0.182	0.134
	7	1.32	1.11	0.208	0.157
	8	1.33	1.10	0.223	0.168
	9	1.28	1.07	0.210	0.163
	10	1.31	1.09	0.220	0.168
	平均	1.37	1.22	0.154	0.112
遅い	1	1.07	0.864	0.210	0.195
	2	1.03	0.797	0.234	0.227
	3	1.05	0.796	0.258	0.245
	4	1.04	0.842	0.199	0.191
	5	0.957	0.812	0.145	0.151
	6	1.01	0.801	0.211	0.209
	7	1.06	0.820	0.236	0.224
	8	0.994	0.800	0.194	0.195
	9	0.937	0.736	0.200	0.214
	10	1.01	0.775	0.237	0.234
	平均	1.02	0.804	0.212	0.209

表 3.5: 被験者 5 の通常の歩行時に生じる速度変化

	No.	最高速度 [m/s]	最低速度 [m/s]	速度変化 (差)	速度変化 (率)
速い	1	1.99	1.87	0.115	0.0577
	2	1.82	1.60	0.222	0.122
	3	1.85	1.72	0.135	0.0726
	4	1.94	1.76	0.181	0.0932
	5	1.78	1.66	0.117	0.0657
	6	1.79	1.72	0.0740	0.0413
	7	1.86	1.61	0.248	0.133
	8	1.83	1.65	0.174	0.0955
	9	2.05	1.88	0.167	0.0815
	10	1.89	1.80	0.0985	0.0520
	平均	1.89	1.73	0.157	0.0833
普通	1	1.44	1.28	0.160	0.111
	2	1.59	1.49	0.102	0.0643
	3	1.41	1.40	0.00939	0.00666
	4	1.34	1.21	0.128	0.0957
	5	1.47	1.25	0.214	0.146
	6	1.46	1.40	0.0548	0.0376
	7	1.36	1.14	0.222	0.163
	8	1.46	1.30	0.161	0.110
	9	1.42	1.30	0.124	0.0871
	10	1.44	1.31	0.127	0.0887
	平均	1.44	1.31	0.131	0.0912
遅い	1	1.04	0.698	0.346	0.331
	2	0.973	0.815	.157	0.162
	3	0.991	0.895	0.0969	0.0977
	4	0.885	0.721	0.163	0.185
	5	0.890	0.674	0.215	0.242
	6	0.833	0.643	0.189	0.227
	7	0.883	0.742	0.141	0.159
	8	0.815	0.751	0.0642	0.0787
	9	0.757	0.652	0.105	0.139
	10	0.805	0.710	0.0951	0.118
	平均	0.888	0.730	0.157	0.174

3.2 適切な開口幅

本節では固定されたドアを通過する実験により、歩行者のドアに対する恐怖感や減速を生じさせる開口幅の条件が速度に応じてどのように影響するのかを明らかにする。また、ドア到達時に必要な開口幅を求めることで、西田の開きタイミングの検証を行う。

3.2.1 実験手順

適切な開口幅を求めるための被験者実験の方法を以下に示す。また実験の環境図を図 3.3 に示す。

1. 被験者の身体の幅 w を計測する

- 測定する体の幅の位置はひじの高さとする

2. ドアを幅 l の間隔に固定し、4[m] 手前の位置からドア中心をとおり線に沿って歩行する (図 3.4)

- 固定するドアの幅 l は、 $l = w + 2.5[\text{cm}]$, $+ 5.0[\text{cm}]$, \dots , $+ 25[\text{cm}]$, $+ 30[\text{cm}]$, \dots , $+ 45[\text{cm}]$ の 14 種類とする
(この体の幅の両端に加えた値を以降マージンと呼ぶ)

- 3.1.1 項の方法を用いて被験者の後方から被験者の位置と速度を計測する

3. ドア通過後、固定された幅が不快だったか否かアンケートに回答する

4. 歩行速度とドアの幅を変更し、再びドア中心をとおり線に沿って歩行する

- 歩行速度は「遅い」「普通」「速い」の 3 種類をローテーションし、計 84 回歩行する

5. 進入角度 θ を変えて 2~5 を繰り返す

- 進入角度 θ は、45, 60, 90[度] の 3 種類で行う

実験を行う上で、一定の開口幅を複数回通過すると、その開口幅に対して慣れが生じてしまう恐れがあるため、固定する幅はランダムに設定した。また、アンケートに回答させると同時に、速度の計測も行った。図 3.4 のように、実験ではドアに対して 90[度] 方向からの進入の他に 60[度]、45[度] からの進入も行い、進入方向によって減速する条件が変化するかも調査した。今回の実験では、20 代前半の被験者 5 人に対して行った。



図 3.3: 実験環境の図

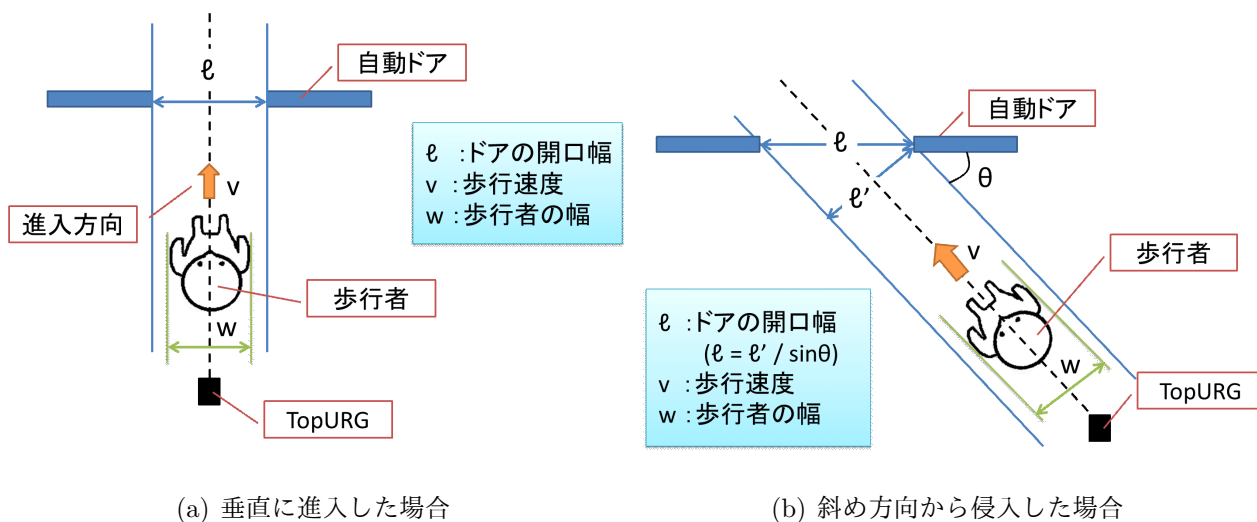


図 3.4: 適切な開口幅を求めるための実験概要図

3.2.2 実験結果

実験結果を図 3.5～図 3.9 に示す。横軸が歩行速度 [m/s]、縦軸が幅に加えたマージンの値 [m] とする。今回取得した歩行速度から減速したと判定した場合を青、減速していないと判定した場合を赤、アンケートで不快と回答したものを△、そうでないものを○とした。これは、アンケートに「不快でない」と回答した場合でも、実際には減速している可能性があり、確認を行うという意味でこのような分類を行っている。

まず、進入角度 90[度] の結果を見てみる。図 3.5 より、例えばマージンが 0.15[m] の場合を見てみると、アンケートでは速度によらず不快と回答しているのに対し、実際に取得された歩行速度の変化で減速と判定されているのは歩行速度が大きい場合である。これは、被験者が感じる印象と歩行速度によって開口幅への印象が違うということを示している。

また、不快と回答されていないにもかかわらず、取得した歩行速度では減速と判定される場合の多くは速度が速いときであった。これは、速い速度の場合には、被験者が不快と感じる開口幅よりも多めに開く必要があり、遅い速度の場合には、被験者が不快と感じる開口幅が適切な開口幅の条件になると考えられる。

次に、進入角度を変えたときの適切な開口幅を見ていくと進入角度が浅いほど同じ幅でも減速と判定されたり、不快と回答したりする数が垂直に進入するときに比べて少ないことがわかる。つまり、浅い角度で進入する場合には必要なマージンは垂直方向からの進入に比べて小さくてもよいことが被験者実験を通して得られた。これは、歩行者に見える障害物となるドアの範囲が、垂直から進入する場合に比べて小さいため、進入角度が浅くなると減速しにくくなるのではないかと考えられる。

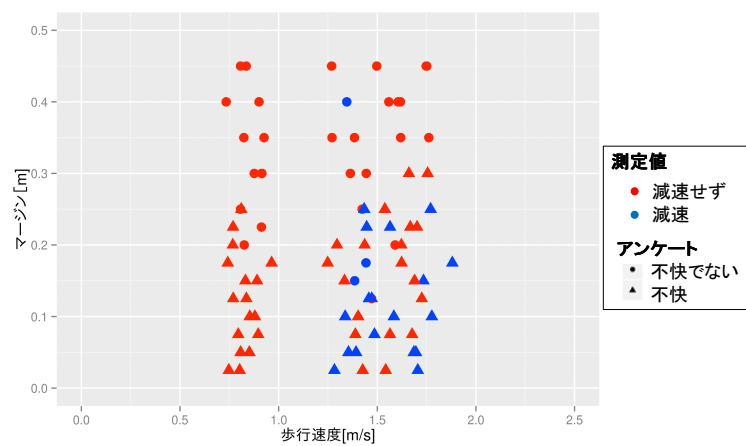
以上の実験結果から歩行者が不快に感じる幅と実際に歩行者が減速する幅が必ずしも一致しないことがわかった。ただし、今回は 2.1.1 節で述べたように、減速が始まる直前に開き始めるものを適切な開きタイミングとしているので、適切な開口幅の具体的な数値を見る場合には、減速と判定されている場合を除くような条件となる。

よって、歩行者によってバラつきはあるものの、速度が 1.0[m/s] のときは 0.10[m] 以上、速度が 1.8[m/s] の時は 0.4[m] 以上のマージンが必要であることがわかる。したがって、先行

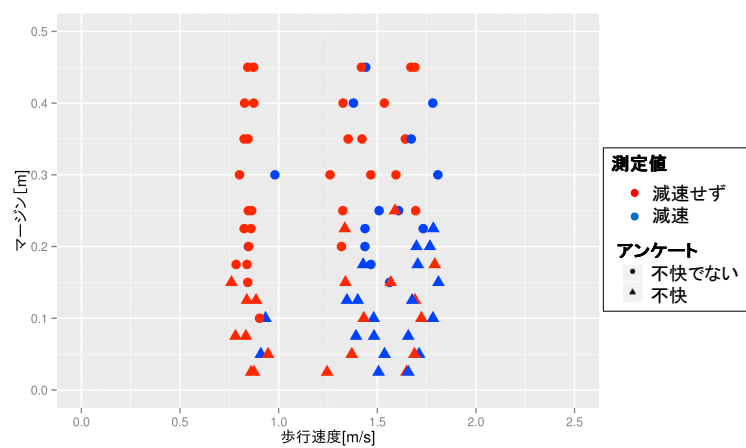
研究の西田の開きタイミングに単純にオフセットを加えるのではなく、速度が速くなるにつれて加えるオフセットの大きさが大きくなることがわかる。

以上の固定幅の通過実験から、ドア到達時に体の幅分開き終わっている状態では、歩行者が減速や不快に感じるためマージンが必要であることがわかった。また、このマージンを先行研究の開きタイミングに単純に加えるのではなく、速度に応じて必要なマージンを変える必要があるという条件が明らかになった。

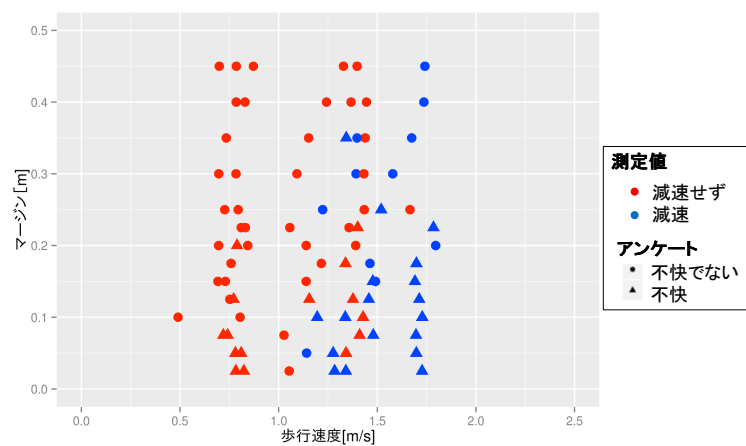
今回の結果では、遅い速度にもかかわらず十分なマージンでも減速と判定されてしまうことがあった。この原因として、歩行者にドア通過後に歩いてもらう距離が十分でなかったことが挙げられる。これは、通過後すぐに停止してしまうと、ドアに対して減速しているのか止まるために減速しているのか区別できなくなるためである。ドア通過後にすぐ止まらないような工夫が必要である。



(a) 90 度

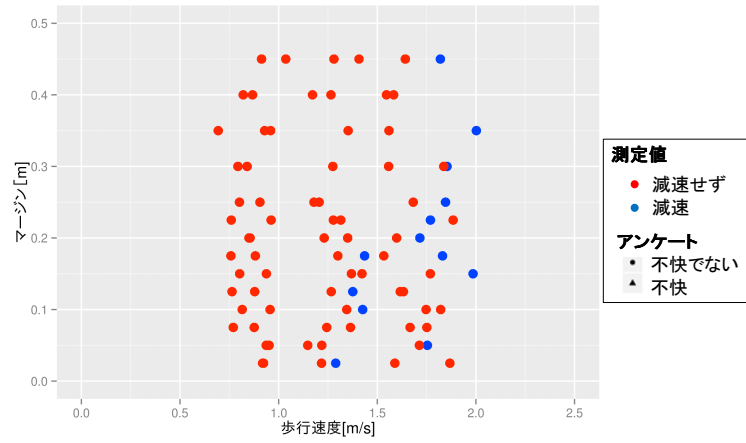


(b) 60 度

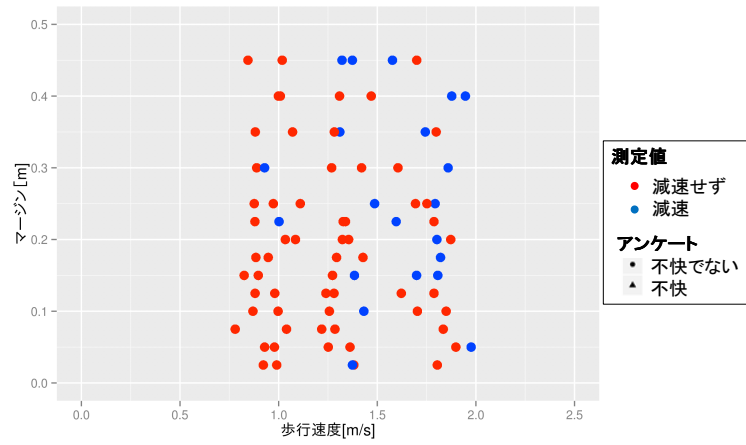


(c) 45 度

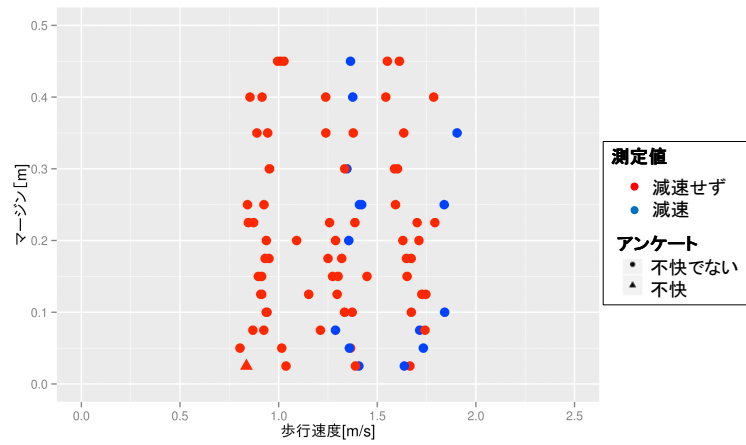
図 3.5: 被験者 1($w=0.45$ [m]) の適切な開口幅を求めるための実験結果



(a) 90 度

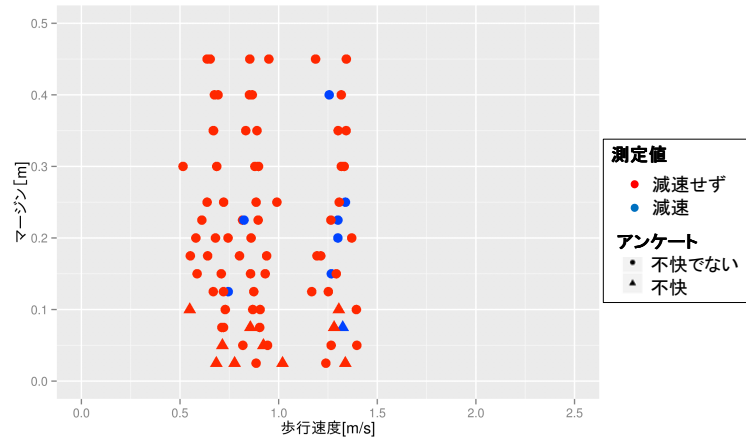


(b) 60 度

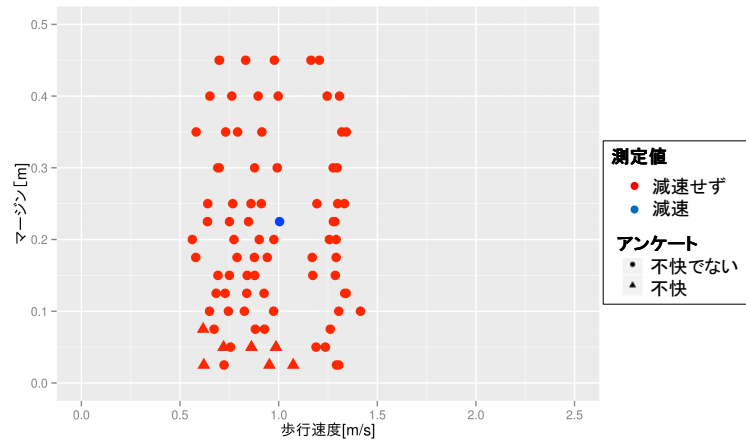


(c) 45 度

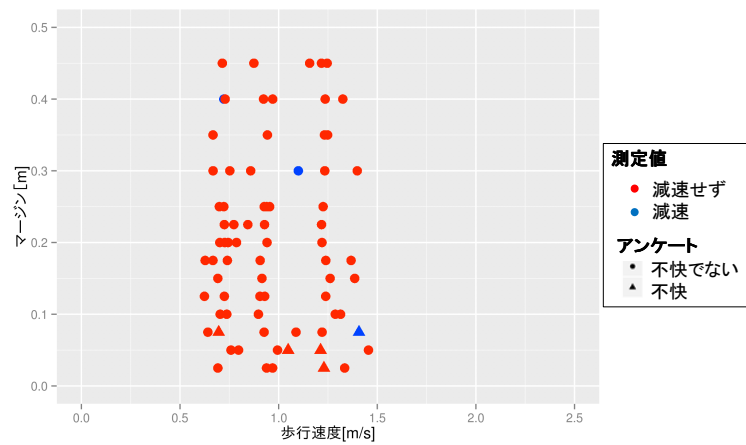
図 3.6: 被験者 2($w=0.59$ [m]) の適切な開口幅を求めるための実験結果



(a) 90 度

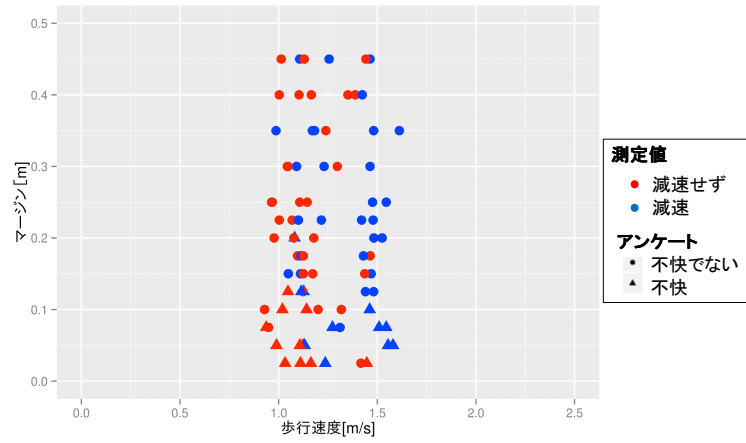


(b) 60 度

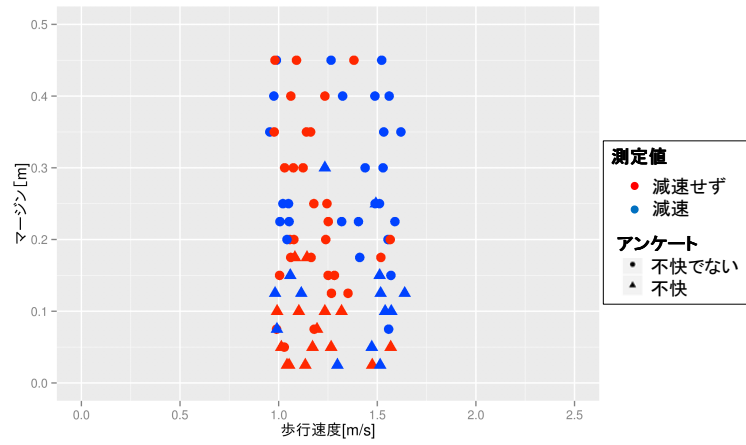


(c) 45 度

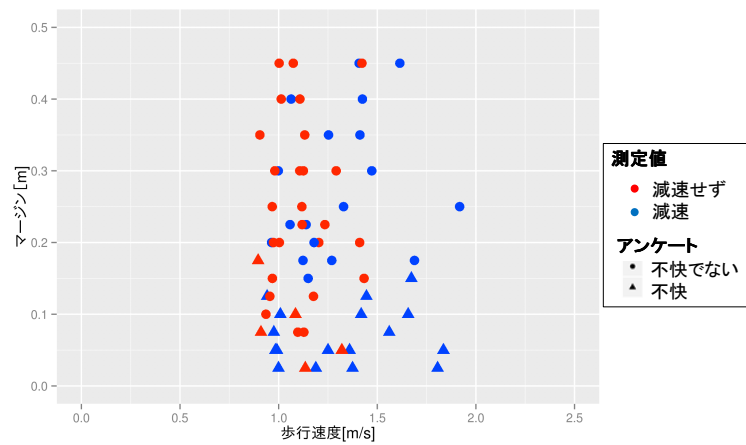
図 3.7: 被験者 3($w=0.59$ [m]) の適切な開口幅を求めるための実験結果



(a) 90 度

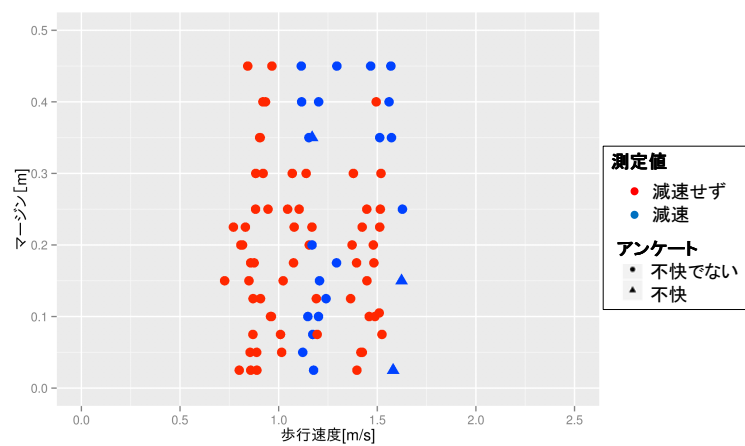


(b) 60 度

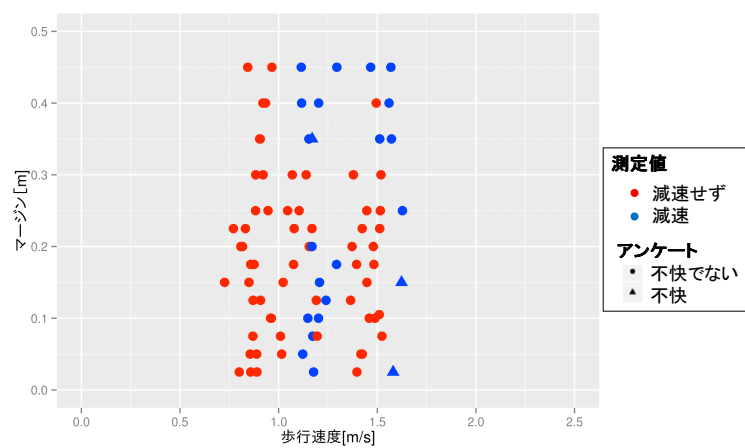


(c) 45 度

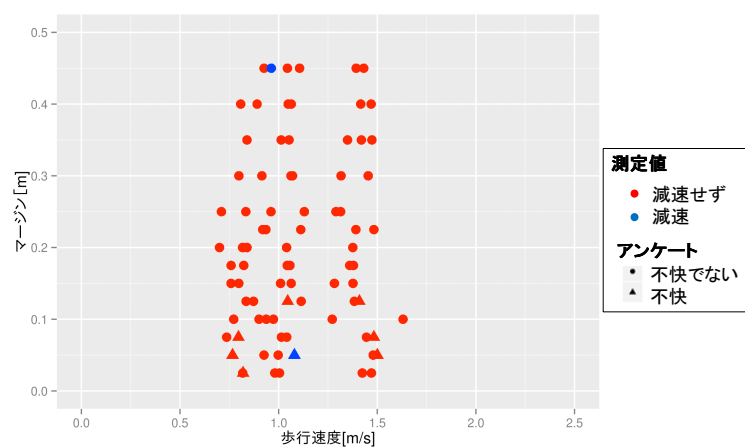
図 3.8: 被験者 4($w=0.51$ [m]) の適切な開口幅を求めるための実験結果



(a) 90 度



(b) 60 度



(c) 45 度

図 3.9: 被験者 5($w=0.57$ [m]) の適切な開口幅を求めるための実験結果

3.3 適切な開きタイミングの実験

本節では、実際にドアが動く自動ドアを使用して速度に応じた開きタイミングを求めることで、固定されたドアで得られた条件との比較を行う。

3.3.1 実験手順

本実験では、被験者がドアから 7[m] の位置から歩行を開始する。被験者の歩行速度は実験者が指示を出し、同じ速度で 2 回ずつ計 26 回歩行する。このときの指示は、「先程より早く」「先程より遅く」といったもので、データがばらつくようにする。この 26 回の試行を 1 サイクルとする。ドアの開き命令を出すタイミングは、以下の 2 種類用意する。

- (i) 歩行者までの距離がドアから 0.8～1.8[m] の範囲内でランダムに開き命令
- (ii) 歩行者までの距離がドアから 1.3～2.5[m] の範囲内でランダムに開き命令

以下のように 1 人の被験者に対し 4 サイクルの実験を行う。

- (1) タイミング (i) で 1 サイクル
- (2) タイミング (ii) で 1 サイクル
- (3) タイミング (i) で 1 サイクル
- (4) タイミング (ii) で 1 サイクル

今回の実験では、20 代前半の被験者 (男性)6 人に対して行った。

3.3.2 実験結果

取得した歩行速度を 3.1.2 節で定義した減速のしきい値をもとに減速と減速していないに分類し、SVM によって得られた結果 (黒の直線) を図 3.10～図 3.15 に示す。横軸は歩行速度 [m/s]、縦軸はドアが開き始めたときの歩行者の位置、赤い点が減速しなかった点、青い点が減速した点を表している。今回 libSVM の C-SVM を用いて分離を行ったため、誤識別のペナルティの強さを表すコストパラメータ C の値を設定する必要があり、今回 C の値は 10 としている。

図より稀に外れている点はあるものの SVM により減速と減速でない領域の分離がほぼできていることがわかる。

被験者の傾きを比較すると、被験者 2～4 は、体の幅が大きいほど傾きが急になっていることがわかる。これは、同じ幅でも体の幅によって受ける印象が異なるためだと考えられる。

また、被験者 5, 6 は他の 4 つと比較して傾きが大きく異なる結果となった。これは、被験者 5, 6 の減速しなかった点数が減速した点数に比べて極端に少ないため、はみ出した減速の点に引っ張られてしまっているためである。そのため、今回は図 3.10～図 3.13 に着目する。

これらの結果に、西田の開きタイミングに各歩行者の幅を加えた直線 (緑の直線) と比較を行うと、前節の結果と同様、速度に応じて加えるオフセットが異なることがわかる。また、いずれの結果も歩行速度が取得できている部分では、先行研究のタイミングで開いた場合では減速と判定された点が直線よりも上にきており、このタイミングでは開くのが遅く歩行者が減速してしまうことがわかる。したがって、動く自動ドアでも同様に速度に応じて開きタイミングを変える必要があることがわかった。

また、前節と同じく歩行速度 1.0[m/s] と 2.0[m/s] のオフセット量を見ると、ほとんどの被験者が約 0.7[m] と約 1.5[m] のオフセットが必要となり、固定した自動ドアの実験結果とは異なる数値が得られた。つまり、動くドアと固定した自動ドアへの印象は異なるものだったことがわかる。これは、もともと閉じられている状態から開くためだと考えられる。

以上の結果と適切な開きタイミングは減速しないことを踏まえて、今回は図 3.16 の黒の太線で示したような開きタイミングが適切だと考える。この開きタイミングは、3.2 の結果と

被験者 1～4 の結果を重ね合わせたときに一番速いタイミングで開く必要のある歩行者に合わせて開きタイミングを決定した。これにより、すべての歩行者が減速せずにスムーズに行ける適切な開きタイミングになると考える。以下に歩行速度に応じた適切な開きタイミングを示す。

- (1) 歩行速度 $0 \leq v < 0.830$ [m/s] の場合 (被験者 1 のタイミング)

$$\text{ドアを開き始めるタイミング } [m] = 0.832v + 0.425$$

- (2) 歩行速度 $0.830 \leq v < 0.878$ [m/s] の場合 (被験者 2 のタイミング)

$$\text{ドアを開き始めるタイミング } [m] = 1.25v + 0.0781$$

- (3) 歩行速度 $0.878 \leq v$ [m/s] の場合 (被験者 4 のタイミング)

$$\text{ドアを開き始めるタイミング } [m] = 1.47v - 0.115$$

図 3.16 からわかるように、動くドアを通過する場合には固定されている幅を通過するときよりも早く開き始める必要がある。これは、ドアが閉じているところに向かって歩いているため、ドアにぶつかるかもしれないという恐怖心が生じてしまうためと考えられる。

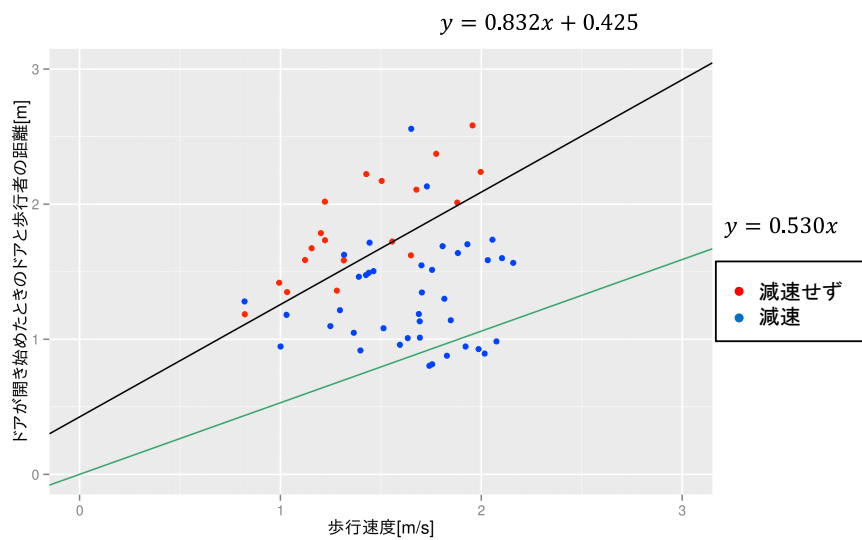


図 3.10: 被験者 1 の SVM 結果

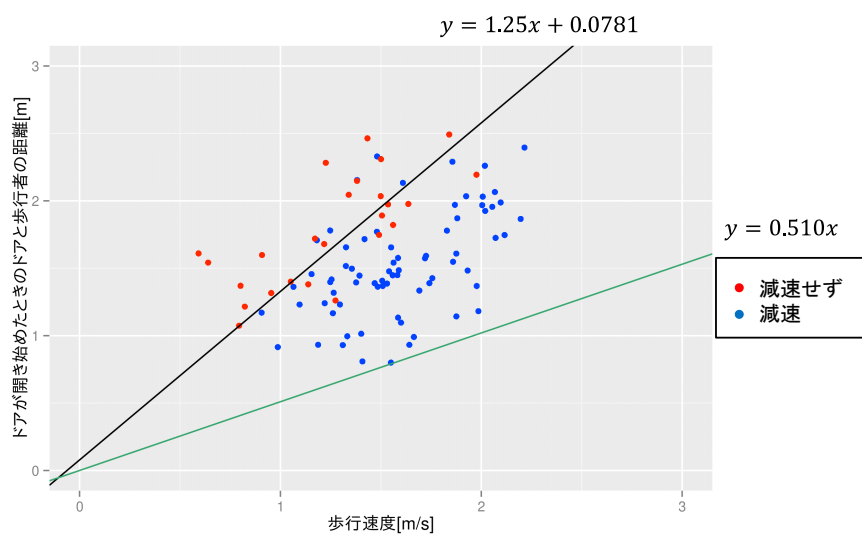


図 3.11: 被験者 2 の SVM 結果

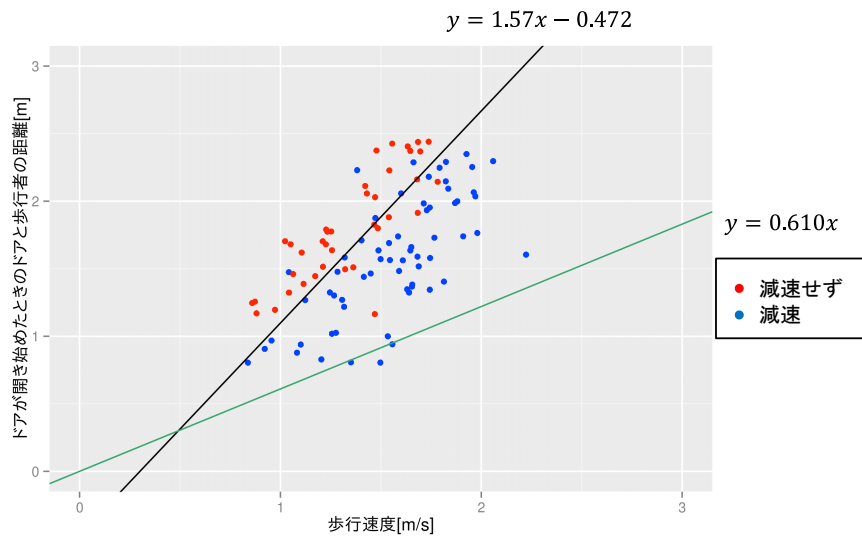


図 3.12: 被験者 3 の SVM 結果

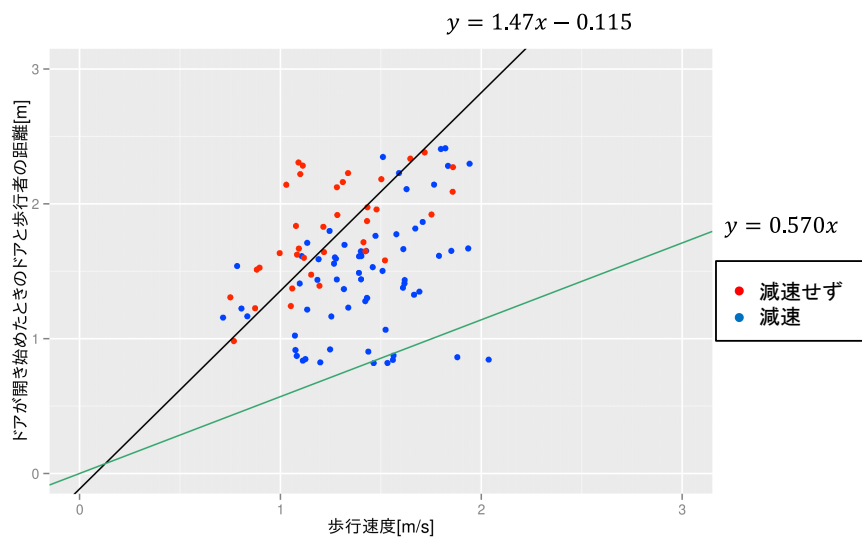


図 3.13: 被験者 4 の SVM 結果

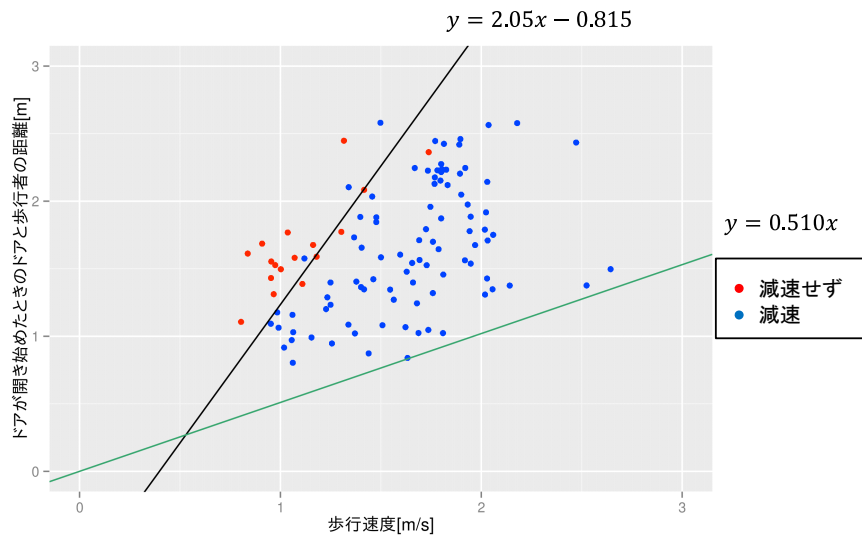


図 3.14: 被験者 5 の SVM 結果

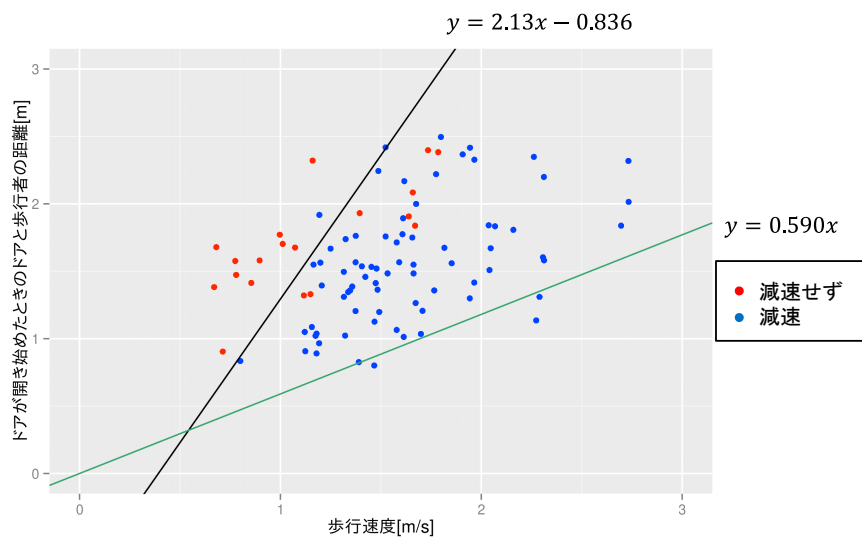


図 3.15: 被験者 6 の SVM 結果

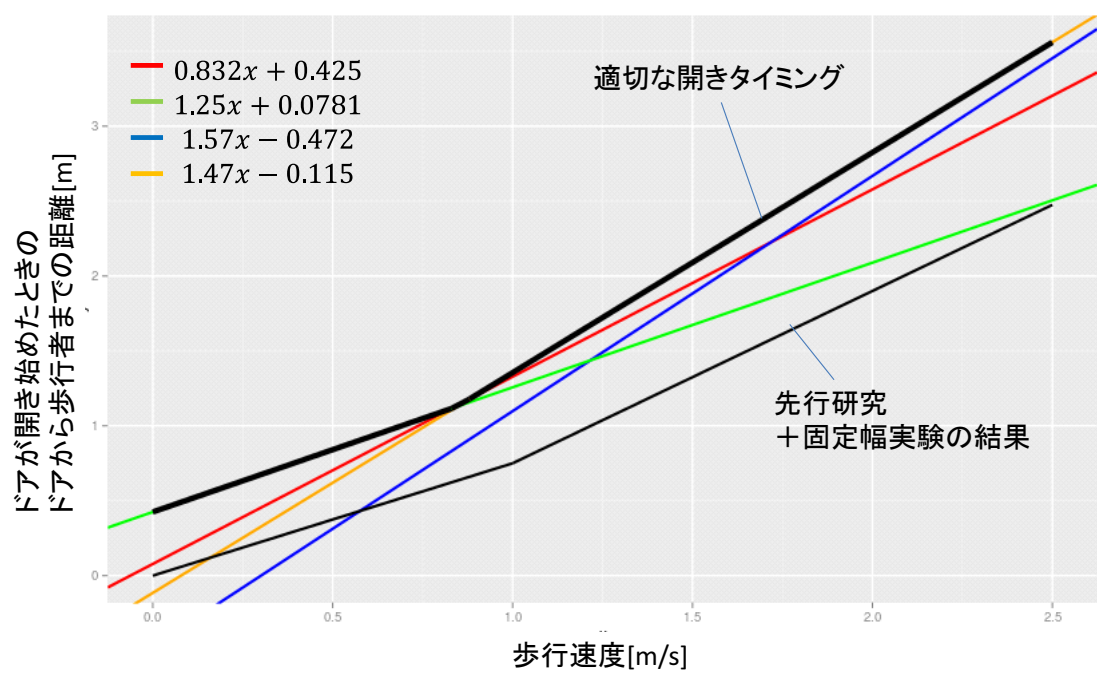


図 3.16: 適切な開きタイミング

3.4 適切な閉じタイミングの検討

本節では、歩行者が通過した直後にドアを閉じ始めるタイミングの検討を行う。

前章で述べたように、開き判定は歩行者の速度ベクトルとドアのベクトルが交差している間は開き命令が発行されている。つまり、この交差判定で交差していないと判定されたら直ちに閉じ命令を発行すればよい。しかし、今回の自動ドアシステムにおける歩行者の検出や追跡は、前章で述べたように、歩行者頭部の重心を用いて行われているため、歩行者が通過したということは、センサの観測範囲からこの重心が出たことになる (図 3.17)。交差されていないと判定された後に残っているであろう歩行者の長さの半分は開いた状態を保つとした。

したがって、今回閉じ命令を出すタイミングとしては、歩行者の交差判定がなくなってから (体の長さ-頭の長さ)/2 を速度で割った時間待ってからドアを閉じ始めるとする。

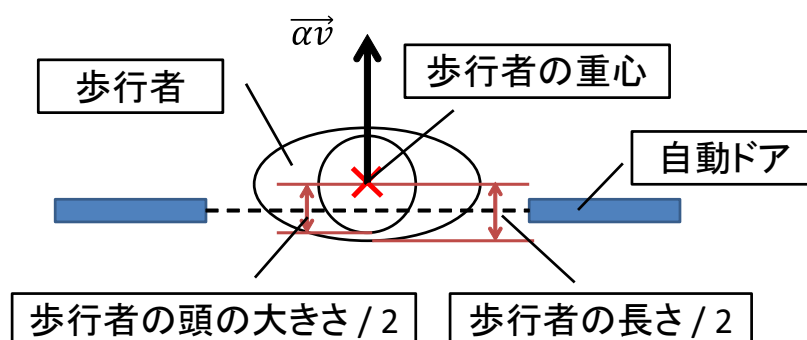


図 3.17: ドア通過後の様子

3.5 まとめ

本章では、実験で使用する歩行速度の取得方法と減速と判定するためのしきい値を求め、被験者実験を通して、適切な開口幅と開きタイミングの条件を明らかにした。また、歩行者通過後の無駄な開放時間を無くすため、閉じ始めるタイミングの検討を行った。3.1 節では、歩行速度の取得方法と被験者実験を通して通常の歩行時の歩行速度の変化量を調べ、減速のしきい値とした。3.2 節では、自動ドア通行時に減速しないための開口幅の条件を求めた。3.3 節では、実際に自動ドアを使用して適切な開きタイミングの条件を求めた。3.4 節では、歩行者通過し終わってから閉じ始めるタイミングを検討した。

第4章 評価実験

本章では、2.2節で作成した自動ドアシステムに3.3で求めた適切な開きタイミングを実装した自動ドアを使い、従来の自動ドアとの比較実験を行う。また3.4節で述べた手法を用いた閉じタイミングを実装し、歩行者の通過後直ちにドアが閉じ始めているか評価を行う。

4.1 開きタイミングの評価

本実験では先行研究の松原のアルゴリズムを参考に3.3節で求めた適切な開きタイミングの実装を行う。ここでは、ドアと交差する歩行者の速度ベクトルの長さを開きタイミングを組み込んだものに変更する。開きタイミングのベクトルの長さ α を、観測された歩行速度を $v[\text{m/s}]$ 、観測された人の幅を $w_y[\text{m}]$ 、人の進行方向の幅 $w_x[\text{m}]$ 、ドアの開閉速度 $v_{open}[\text{m/s}]$ としたとき、以下のようにして定義する。

$$\alpha = vw_y/v_{open} + (\text{今回求めたオフセット}) + w_x/2.0 \quad (4.1)$$

1つ目の項はドア到達時にちょうど体の幅分ピッタリ開くための時間を示している。2つ目の項は、3.3節で求めた歩行者の速度に応じたオフセットを示している。3つ目の項は、歩行者の速度ベクトルが体の重心から出ているため、体の先端から開きタイミングを出すために加えている。

今回速い速度にも対応できるように、センサの取り付け角度を40[度]傾けて設置することで、観測範囲を21[度]から61[度]まで広げている。具体的には、奥行方向に約7.0[m]まで歩行者の観測が行えることになる。ただし、ドアから約1.0[m]の範囲は観測できない。3.1.1節を用いて歩行速度を取得し、指定したタイミングでドアを開けているのか、上記のタイミングで設定されたインテリジェント自動ドアと、1.23[m]の範囲内に歩行者を検出すると開く

従来の自動ドアとの比較を行った。実験は5名の被験者に「遅い」「普通」「速い」「走り込み」の4種類の速度を1サイクルとして10サイクル行った。自動ドアの設定は、従来の自動ドア、インテリジェント自動ドアの順に行っている。

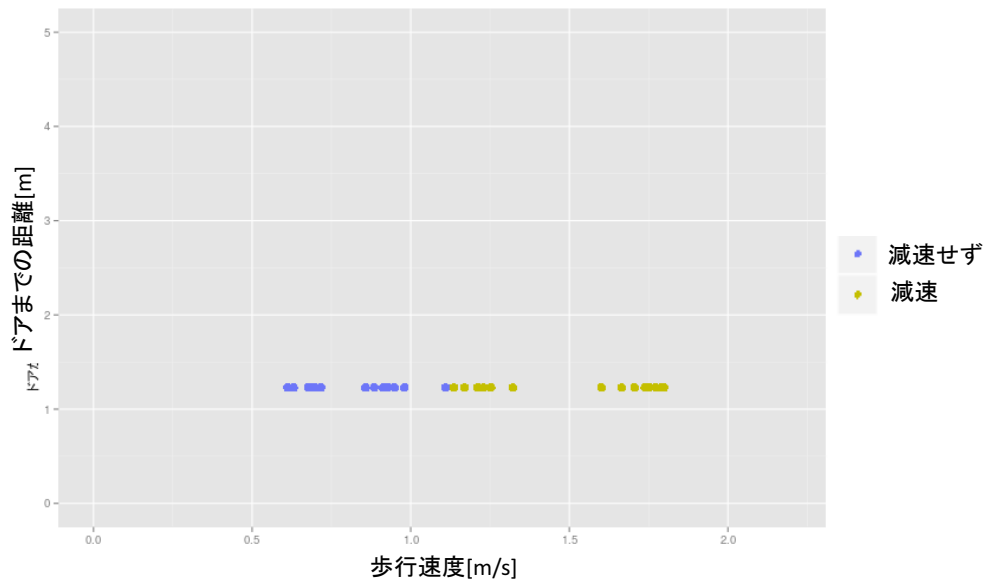
実験結果を図 4.1～図 4.5 に示す。横軸が URG を用いて計測した歩行者の速度 [m/s]、縦軸は交差判定で交差していると判定されたときの歩行者の位置 [m] を表している。赤が減速していない点、緑が減速している点を表している。ここでは、歩行者の速度が安定してとれるのが歩き始めてから 3.0[m] のため、3.3 節で求めた開き判定が遅れずに発行される歩行者の速度としては歩行者が 2.0[m/s] 以下である。本実験ではそれより速い速度の結果は評価から外している。

図を見ると、インテリジェント自動ドアを用いたことで、従来の自動ドアでは減速していたタイミングでも減速せずに通過できていることがわかる。図 4.1 の被験者に関しては、今回求めた適切な開きタイミングのインテリジェント自動ドアを使用した場合、減速と判定されずに通過できていることがわかる。しかし、それ以外の被験者は速い速度で歩いたときには早めに開いているにもかかわらず、減速と判定されている。この原因としては、実験環境においてドア通過後の距離が十分でなかったことが挙げられる。今回、ドア通過後 2[m] の位置に壁があり停止する必要があった。そのため、速い速度で進入した場合、壁にぶつかる前に早めに減速する必要がある、このような結果になったと考えられる。実際に速度が速いときの従来の自動ドアとインテリジェント自動ドアでの歩行速度の変化を図 4.6 に示す。従来の自動ドアではドアの前で減速した後、歩行速度を戻すような変化をするが、インテリジェント自動ドアではおよそドアが開き始めた位置で歩行速度が減速し始めている。つまり、インテリジェント自動ドアの減速は、ドア通過後に停止するための減速であり、今回考えている不快な減速とは異なると考えられる。

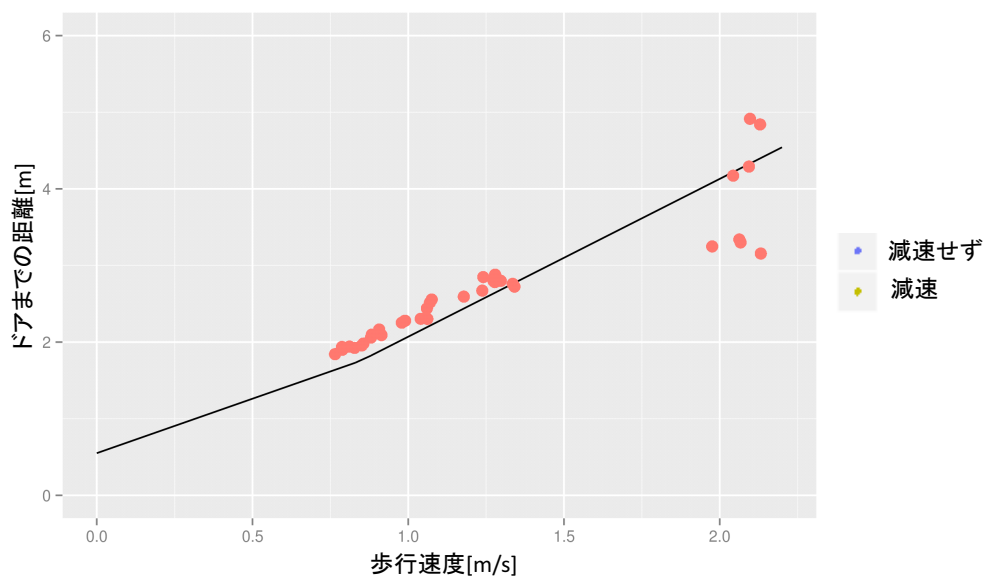
また、予想したタイミングで開き命令が発行されているかに関しては、歩行速度が 1.5[m/s] の場合は予想通りのタイミング発行されているのに対し、速度が速いと開き始めるタイミングが予想よりも遅れていることがわかる。これは、3D センサで取得して求めた速度と Top-URG で取得して求めた速度が異なったためである。3D センサのプログラムで求めた速度の

場合、速い速度では速度が安定するのに時間がかかる場合があり、このとき開き命令が遅れて発行される。また、開き命令が速く発行されるときには、動き出したときの頭の変化が大きい場合に速度ベクトルが大きくなってしまい、予想よりも早くドアの開き命令が発行されている。

以上の結果より、今回求めた開きタイミングは従来の自動ドアに比べてかなり早くドアを開き始めたが、歩行者は減速してしまった。この要因としては、インテリジェント自動ドアに慣れていないため、歩行者が従来の自動ドアと同様にドア手前で減速してしまったと考えられる。

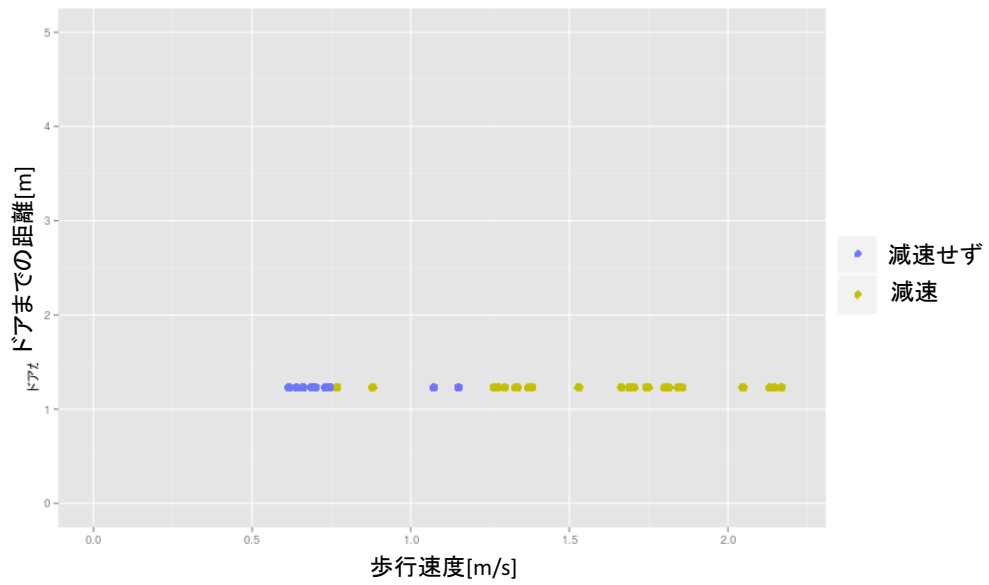


(a) 従来の自動ドア

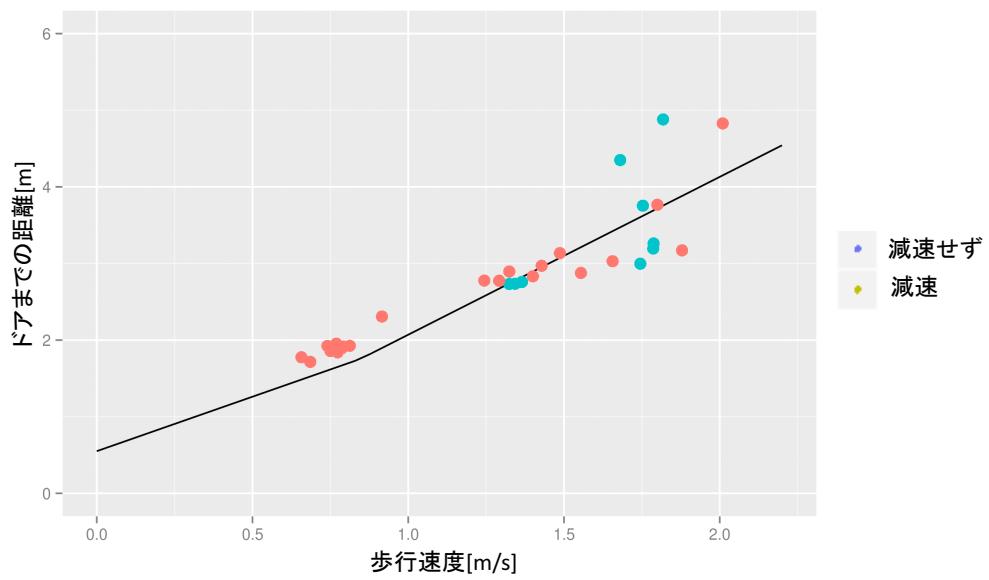


(b) インテリジェント自動ドア

図 4.1: 被験者 1 ($w_x=0.59[m]$) の評価結果

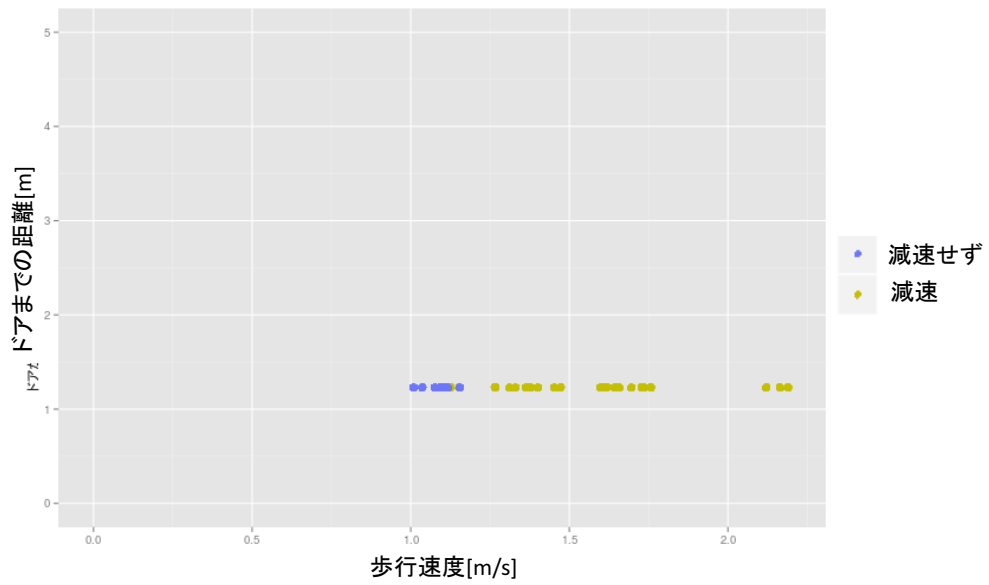


(a) 従来の自動ドア

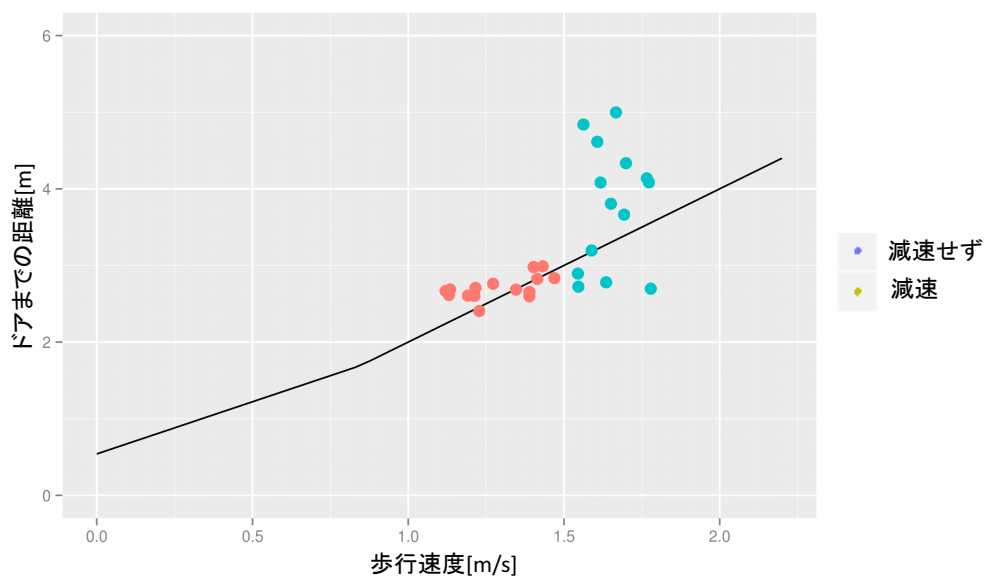


(b) インテリジェント自動ドア

図 4.2: 被験者 2($w_x=0.59$ [m]) の評価結果

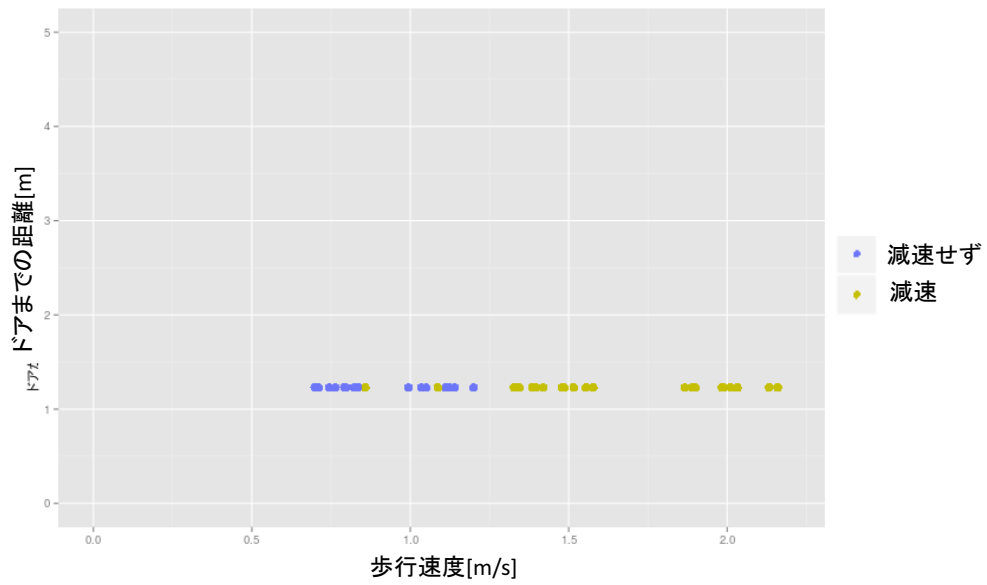


(a) 従来の自動ドア

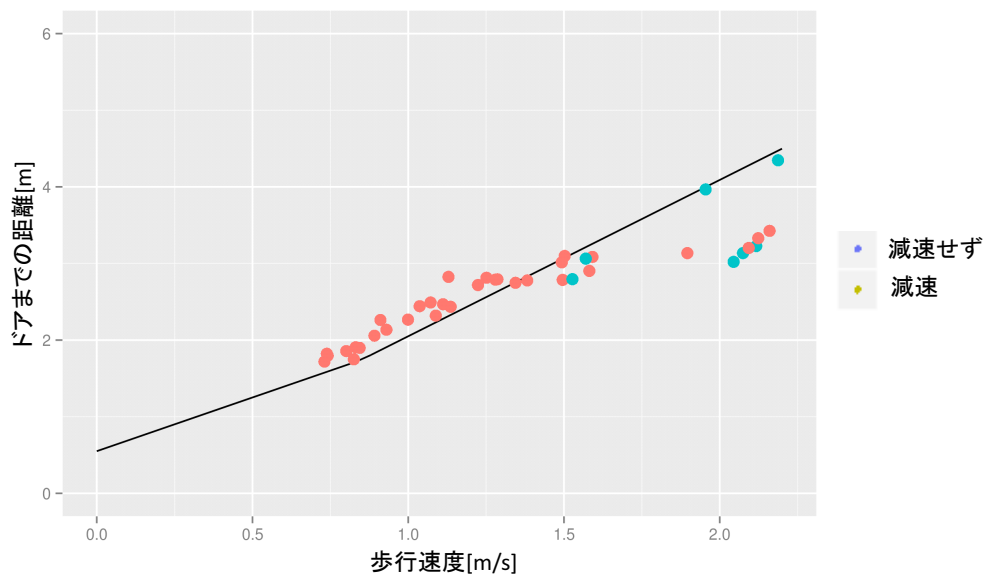


(b) インテリジェント自動ドア

図 4.3: 被験者 3($w_x=0.53$ [m]) の評価結果

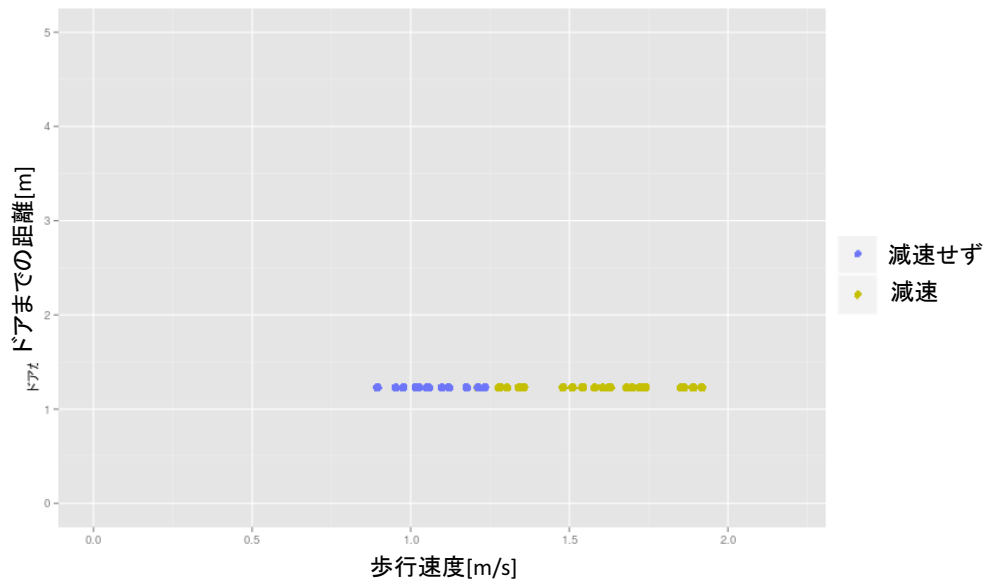


(a) 従来の自動ドア

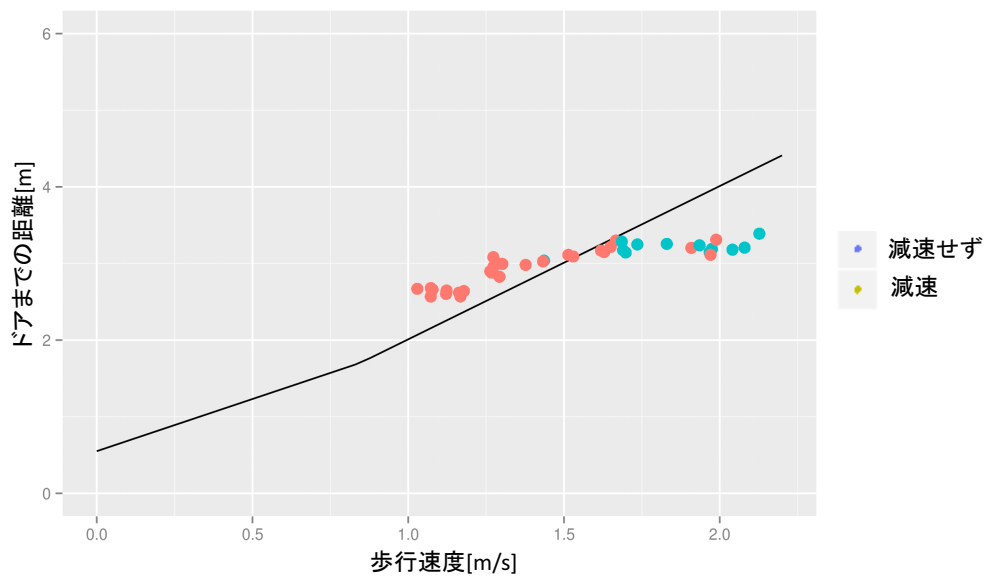


(b) インテリジェント自動ドア

図 4.4: 被験者 4 ($w_x=0.57$ [m]) の評価結果

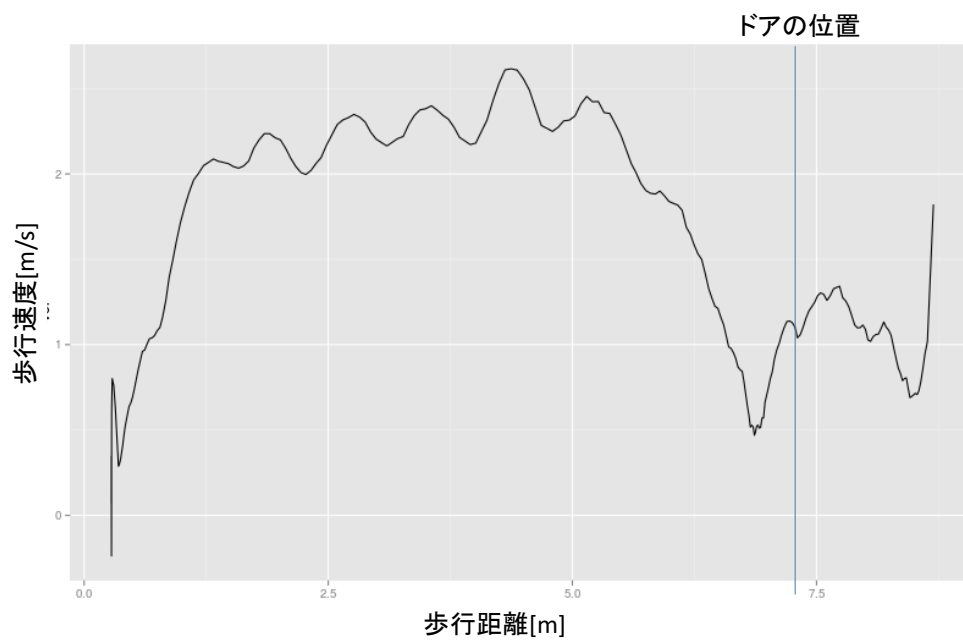


(a) 従来の自動ドア

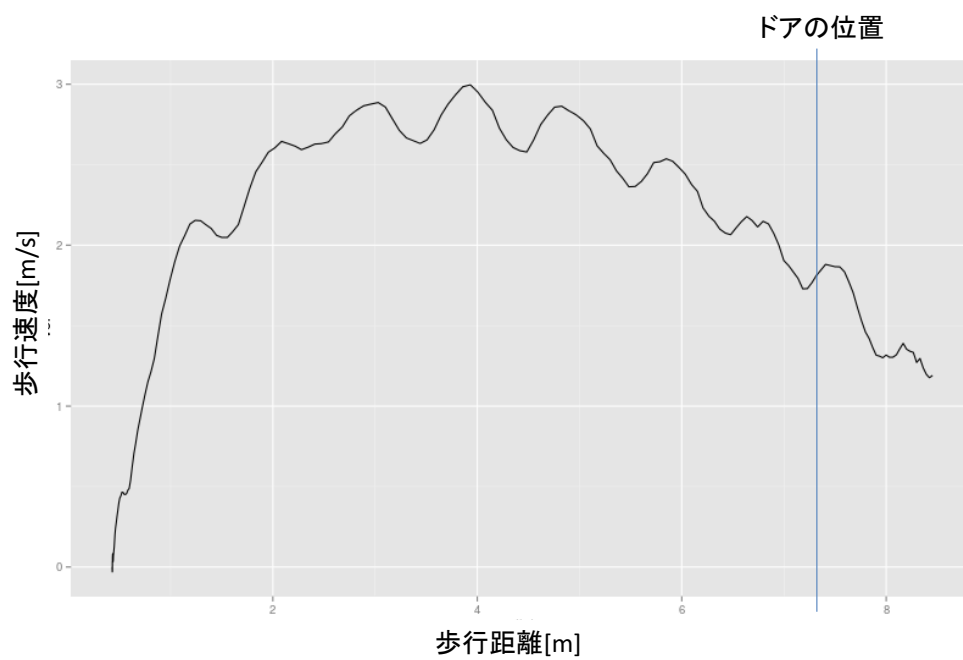


(b) インテリジェント自動ドア

図 4.5: 被験者 5 ($w_x=0.53$ [m]) の評価結果



(a) 従来の自動ドア



(b) インテリジェント自動ドア

図 4.6: 歩行速度の変化

4.2 閉じタイミングの評価

閉じタイミングの評価については、図 4.7 のように荷物を持った状態と荷物を持っていない状態の2種類で行い、歩行者通過後直ちにドアを閉じ始められているか評価を行った。荷物の形状は高さ1.6[m]である。今回はセンサの取り付け角度は21[度]とし、センサの真下が観測できるように設置した。閉じタイミングの実装方法としては、カウンタを使用している。交差判定が真の場合にはカウンタは0となり、交差判定が偽の場合はカウンタを増やす。

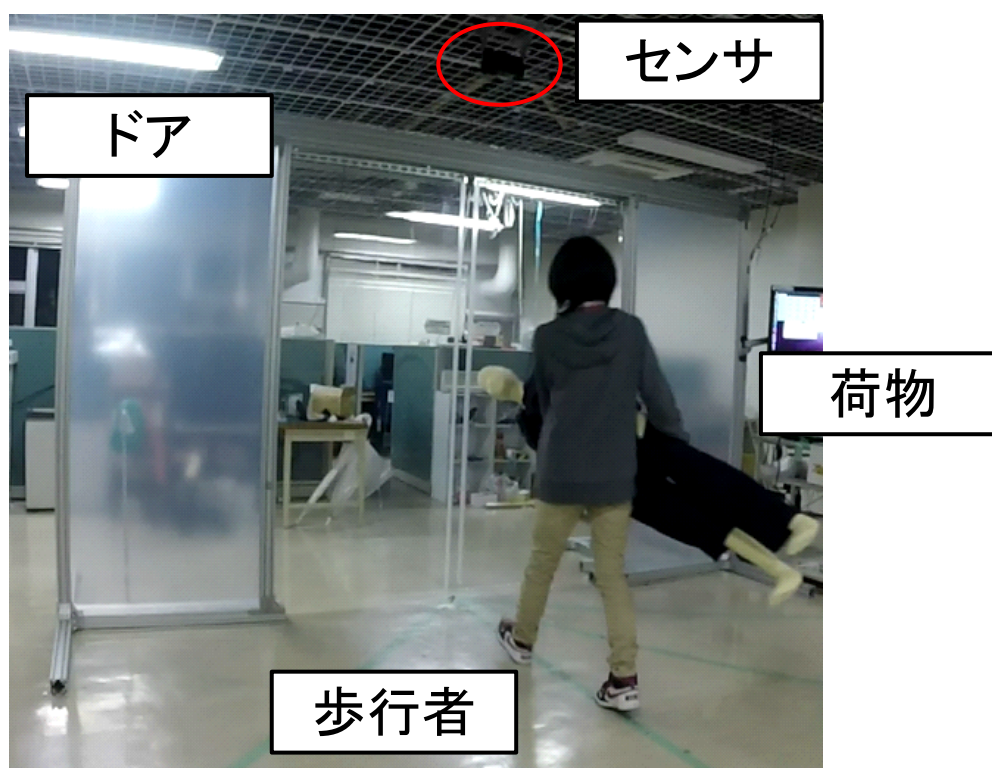


図 4.7: 閉じタイミング実験環境の図

実験結果を図 4.8、図 4.9 に示す。横軸が歩行速度 [m]、縦軸が歩行者が通過したと判定されてから閉じ始めるカウンタである。

図 4.8 を見てみると、歩行者の長さが 0.30[m] のとき発行される閉じ命令のタイミング $close_{time}$ は、頭の長さを 0.20[m]、センサの観測周期が 20[Hz] とすると、 $close_{time} = 2.0/v$ と

なる。この結果から閉じ命令が発行されるタイミングはほぼ正しく発行されていることがわかる。しかし、実際に動画で閉じ動作を確認すると、歩行者が通過してからわずかに閉じ始めるのが遅かった。これは、ハードの問題で閉じ命令が発行されてから直ちに閉じることができないためである。2.2 節で述べたように、開き動作中に閉じ動作に移る場合には停止動作をはさむ必要があるため、歩行者通過後に直ちにドアを閉じることができなかったと考えられる。

次に、図 4.9 を見てみると、歩行者の長さは 1.6[m] とすると、発行される閉じ命令のタイミング $close_{time}$ は、 $close_{time} = 14/v$ となる。しかし、実験結果を見ると、閉じカウンタは荷物のないときと同じタイミングが発行されていた。これは、抱えていた荷物の高さが高く、歩行者が通過した後に残った荷物を人と認識したため、荷物が抜けきってからドアを閉じ始めたため、このような結果が得られた。また、いずれの歩行状態においてもドア通過中にドアが閉じ始めることはなかった。

したがって、今回の実験から歩行者通過後は直ちにドアを閉じ始め、歩行者が挟まれないことを確認できた。今後は、歩行者通過後の荷物が認識されない場合にも今回定義した閉じタイミングで挟み込みが起こらないことを確認する必要がある。

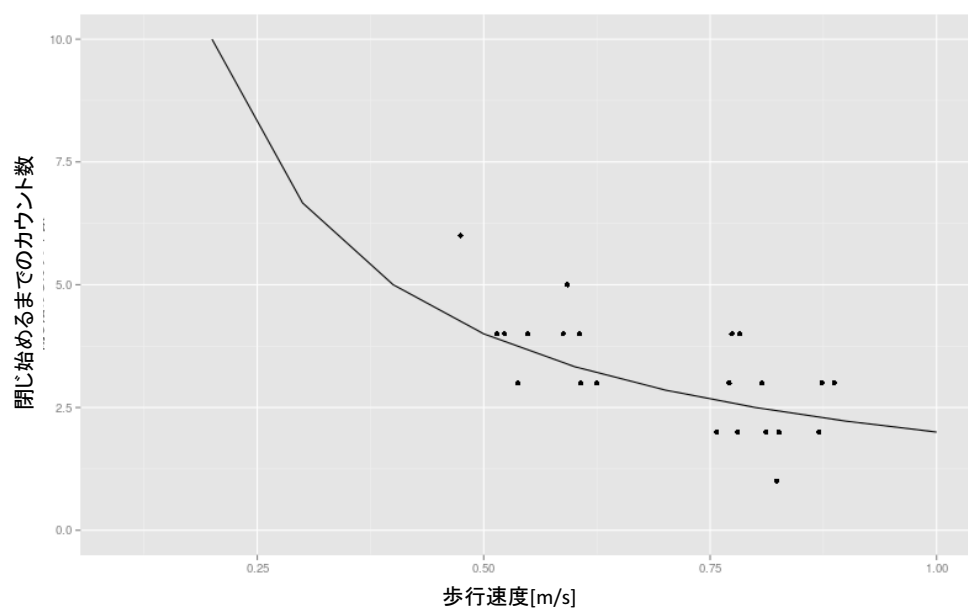


図 4.8: 閉じタイミング実験結果 (荷物なし)

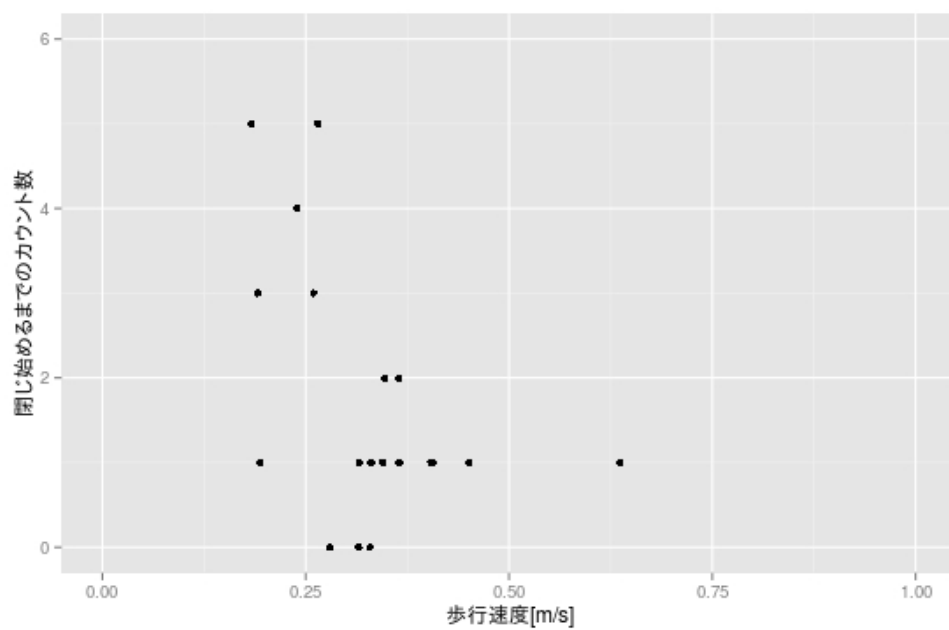


図 4.9: 閉じタイミング実験結果 (荷物あり)

4.3 まとめ

本章では、3章の被験者実験を通して得られた適切な開きタイミングと、検討した閉じタイミングを自動ドアに実装し、評価実験を行った。4.1節では、適切な開きタイミングを実装したインテリジェント自動ドアを、従来の自動ドアと比較して歩行者が減速せずに通過できているか評価を行った。4.1節では、検討した閉じタイミングで閉じ始めているか、歩行者の長さに対応しているか、歩行者が通過し終わっているかなどの確認を行った。

第5章 結言

5.1 本研究のまとめ

本研究では、できる限りドアを閉じた状態に保ちつつ、歩行者が減速しないタイミングでドアを開き始める適切な開きタイミングの条件を求め、歩行者通過後には直ちにドアを閉じ始める適切な閉じタイミングの検討を行った。また、求めた開閉タイミングを実装したインテリジェント自動ドアを作成し、従来の自動ドアとの比較実験を行った。

今回実機実験を行うために、インテリジェント自動ドアを実装するために新たに自動ドアを作成した。本システムでは、三次元レーザスキャナから取得される三次元データをそのまま使用して人物検出を行い、歩行者の速度ベクトルとドアベクトルとの交差により開き命令を発行する自動ドアシステムとした。

適切な開きタイミングを求めるための被験者実験では、まず固定したドアを通過する実験を通して、先行研究である西田の開きタイミングに単純にオフセットを加えるのではなく、速度に応じて加えるオフセットを変える必要があることを明らかにした。

次に、動く自動ドアを用いて具体的な開きタイミングを求めるための実験を行い、歩行速度を減速と減速しない領域にSVMを用いて分離した。この結果から、固定された幅の実験で得られた減速しない開きタイミングの条件よりも速度に応じて開き始めるタイミングを早くする必要があることがわかった。また、対象となる被験者のSVM分離境界線を用いて適切な開きタイミングの式を求めた。

閉じタイミングについては、単純に歩行者がいなくなった瞬間にドアを閉じ始めるのではなく、歩行者の長さに応じて閉じるタイミングを変えることで、荷物を持った歩行者が挟まれないための閉じタイミングを検討した。

最後に、今まで求めた開きタイミングを実装したインテリジェント自動ドアの評価実験を行い、従来の自動ドアに比べて速い速度でもスムーズに通行できるようになった。また、通過後は直ちにドアを閉じ始めることを確認できた。

5.2 今後の展望

今後の課題としては、以下のことが挙げられる。

開きタイミングの分離方法の検討

本研究で求めた開きタイミングは、歩行速度が等速であると仮定し、取得したすべてのデータを用いて分離境界線を求めた。そのため、分類した点の数が片方に偏ることで、片方の点群に分離境界線が引っ張られてしまいうまく引けないことがあった。そのため任意の速度域ごとに分割し、その範囲内で分離境界線を引くことで、このような影響を受けずに速度に応じた開きタイミングを求めることができると考えられる。

また、今回安全面に関する開きタイミングについての検討を行わなかった。しかし、 $2.0[\text{m/s}]$ 以上の速い速度で進入する歩行者に対して、今回求めたタイミングで開くと危険性があるため、あえて減速するようなタイミングでドアを開き始めるタイミングで開くように調整する必要がある。

歩行者の進入位置に応じた開きタイミングの変更

本研究では、自動ドアの片面からの進入に対する適切な開きタイミングを検討したため、歩行者はドアの中心を通ることを前提として適切な開きタイミングを求めた。しかし、本来の自動ドアは両面からの進入が存在するため、歩行者のすれ違いが発生することが考えられる。このとき、歩行者がドア中心を通らない可能性があり、その場合、今回求めた適切な開きタイミングよりも速く開き始めるような開き条件を加える必要がある。また、今回は両開きの自動ドアを扱ったが、片開きのものもある。この場合も先程と同様、歩行者がドアのどの位置に向かって歩いているのかに応じて適切な開きタイミングを変更する必要がある。

フィールドテスト

本研究では、長時間にわたる素通りと進入する歩行者がいる環境での動作評価を行わなかった。今後、素通りの歩行者がいる場合にも誤動作をせずに適切な開きタイミングで開閉を行えることを検証するためのフィールドテストを行っていく必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、日頃よりご意見、ご指導いただきました、知能システム学講座 富沢哲雄助教、工藤俊亮准教授、末廣尚士教授に感謝いたします。

また、故高井和夫様をはじめとした北陽電機株式会社の社員の方々、田中順様をはじめとした多摩協立オートドア株式会社の社員の方々には、研究を行う上で様々なサポートをして頂き、大変感謝しております。

最後になりますが、日々の学生生活でお世話になった知能システム学講座の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] メカライフ編集委員, “知って納得 メカランド 自動ドア編”, 日本機械学会誌, Vol.109, No.1057, pp. 986, 2006
- [2] 保坂 良資, 石井 豊恵, 清水 佐知子, 大野 ゆう子, 東村 昌代, “UHF 帯パッシブ RFID タグによる病棟内患者自動検知の可能性に関する研究”, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス 109 巻, pp.5–10, 2009
- [3] 保坂 良資, “新たな UHF 帯 RFID タグによる病棟内患者認証の可能性評価について”, 湘南工科大学紀要 44 巻 1 号, pp. 37–42, 2010
- [4] 杉本 弘道, 長舟 利雄, 一瀬 直樹, “5311 障がい者雇用施設における UD : トヨタ自動車 S&S における取組み事例を基に : 人の建物内移動・入退室の安全性の確保 その 3 ハンズフリーシステム (視覚障害者配慮のユニバーサルデザイン, 建築計画 I)”, 学術講演梗概集. E-1, 建築計画 I, 各種建物・地域施設, 設計方法, 構法計画, 人間工学, 計画基礎 2010, pp. 667–668, 2010
- [5] 李 在勲 金 容植 川田 浩彦, 大矢 晃久, 油田 信一, “測域センサを用いたセキュリティシステムの開発 -人物追跡・計数アルゴリズム-”, 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2006), 2B22, 2006
- [6] Jae Hoon Lee, Yong-Shik Kim, Bong Keun Kim and Kohtaro Ohba, Hirohiko Kawata, Akihisa Ohya and Shinichi Yuta, “Security Door System Using Human Tracking Method with Laser Range Finders”, Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 2060-2065, 2007

- [7] 酒井 孝司, 小野 浩己, 伊藤 雅敏, “41312 自動ドアの省エネルギー性能に関する研究 (その 1): 風除室奥行きの実態調査と換気計算用相当全開時間率の算出 (換気測定・圧力損失, 環境工学 II, 2012 年度大会 (東海) 学術講演会・建築デザイン発表会プログラム)”, 学術講演梗概集 2012(環境工学 II), pp. 631-632, 2012
- [8] 伊藤 雅敏, 小野 浩己, 酒井 孝司, “41313 自動ドアの省エネルギー性能に関する研究 (その 2): 一重自動ドアの外気侵入量実測と CFD(換気測定・圧力損失, 環境工学 II, 2012 年度大会 (東海) 学術講演会・建築デザイン発表会プログラム)”, 学術講演梗概集 2012(環境工学 II), pp. 633-634, 2012
- [9] 本江 慶亮, 山澤 忍, 柳澤 剛, 阿出川 南, “5317 バリアフリーに配慮した駅自動ドア開閉制御装置の研究 その 1(建築各部位の UD, 建築計画 I)”, 学術講演梗概集. E-1, 建築計画 I, 各種建物・地域施設, 設計方法, 構法計画, 人間工学, 計画基礎 2011, pp. 667-668, 2011
- [10] 阿出川 南, 山澤 忍, 柳澤 剛, 本江 慶亮, “5318 バリアフリーに配慮した駅自動ドア開閉制御装置の研究 その 2(建築各部位の UD, 建築計画 I)”, 学術講演梗概集. E-1, 建築計画 I, 各種建物・地域施設, 設計方法, 構法計画, 人間工学, 計画基礎 2011, pp. 669-670, 2011
- [11] 本江 慶亮, 杉山 敬宏, 柳澤 剛, 阿出川 南, “5450 バリアフリーに配慮した駅自動ドア開閉制御装置の研究 その 3(トイレ・バリアフリー, 建築計画, 2012 年度大会 (東海) 学術講演会・建築デザイン発表会)”, 学術講演梗概集 2012(建築計画), pp. 941-942, 2012
- [12] 三宅 宏典, 森本 章雄, 岸本 真一, 大北 正昭, 大木 誠, “色空間の距離情報に基づく自動ドア付近画像の局所的種類分類”, 第 4 回情報科学技術フォーラム, pp. 143-144, FIT2005
- [13] 石堂 正弘, 川真田 進也, “人の動きを環境とし, 環境との干渉から学ぶ進化自動ドア・システム”, 電子情報通信学会技術研究報告. AI, 人工知能と知識処理 98 巻 58 号, pp. 75-82, 1998

- [14] 若井 正一, “5315 自動ドアにおける歩行者の通過行動特性に関する検討：開き始めのタイミングと歩行動作の関係(ロボット・センサー, 建築計画, 2012 年度大会 (東海) 学術講演会・建築デザイン発表会)”, 学術講演梗概集 2012(建築計画), pp. 671–672, 2012
- [15] H.J.Zhao and R.Shibasaki, “A novel system for tracking pedestrians using multiple single-row laser range scanners”, IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, part A, 2004
- [16] 中村 克行, 趙 卉菁, 柴崎 亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴川尚毅, “マルチレーザースキャナを用いた歩行者の抽出”, 第 10 回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp. 409–414, 2004
- [17] 中村 克行, 趙 卉菁, 柴崎 亮介, “複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J88-D-II, No.7, pp.1143–1152, 2005
- [18] J.Cui, H.Zha, H.Zhao, R.Shibasaki, “Multi-modal tracking of people using laser scanners and video camera”, Image and Vision Computing, Volume 26, Issue 2, pp. 240–252, 2008
- [19] 帷子 京市郎, 鈴木 智之, 中村 克行, 趙 卉菁, 柴崎 亮介, 仲川 ゆり, “レーザスキャナを用いた群集の追跡および流動の可視化”, 情報処理学会研究報告. CVIM, 31 号, pp. 229–236, 2007
- [20] 坂本 圭司, 柴崎 亮介, 趙 卉菁, 中村 克行, “レーザーセンサーを利用した駅の旅客流動解析”, 学術講演梗概集. E-1, 建築計画 I, 各種建物・地域施設, 設計方法, 構法計画, 人間工学, 計画基礎 2006, pp. 895–896, 2006
- [21] 帷子 京市郎, 中村 克行, 趙 卉菁, 柴崎 亮介, , “LI-004 レーザセンサを用いた歩行者通過人数の自動計測手法 (I 分野:画像認識・メディア理解)”, 情報科学技術レターズ 4, pp. 145–148, 2005

- [22] 中村 克行, 趙 卉菁, 柴崎 亮介, 坂本 圭司, 大鋸 朋生, 鈴 川尚毅 “I-081 マルチレーザスキャナを用いた通行人数の自動計測 (I. 画像認識・メディア理解)”, 情報科学技術フォーラム一般講演論文集 3 巻, pp. 195–196, 2004
- [23] R.Kurazume, H.Yamada, K.Murakami, Y.Iwashita, and T.Hasegawa, “Target Tracking Using SIR and MCMC Particle Filters by Multiple Cameras and Laser Range Finders”, In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 3838–3844, 2008
- [24] 山田 弘幸, 倉爪 亮, 村上 剛司, 長谷川 勉, “SIR/MCMC パーティクルフィルタを用いたカメラとレーザレンジファインダによる複数移動体の同時追跡トラッキング”, 第 13 回ロボティクスシンポジウム講演会予稿集, pp. 252–258, 2008
- [25] 山田 弘幸, 倉爪 亮, 村上 剛司, 長谷川 勉 “Level Set Tracking を用いた複数レーザレンジファインダとカメラによる歩行者のトラッキング”, 第 12 回 ロボティクスシンポジウム講演会予稿集, pp. 289, 2007
- [26] 佐竹 聡, 神田 崇行, ディラン グラス, 塩見 昌裕, 石黒 浩, 萩田 紀博, “環境情報を理解してサービス提供を行うロボットの実現”, 情報処理学会論文誌, 51 巻, pp.290–300, 2010
- [27] 塩見 昌裕, 神田 崇行, Dylan F. Glas, 佐竹 聡, 石黒 浩, 萩田 紀博 “複数の案内ロボットが連携してサービス提供するネットワークロボットシステムの実現”, 日本ロボット学会誌 29 巻, pp. 544–553, 2011
- [28] 西村 彬宏, 森下 壮一郎, 浅間 一, “隠れマルコフモデルによる歩行パターンからの目的地推定”, 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2006), 2006
- [29] 西村 彬宏, 森下 壮一郎, 浅間 一, “隠れマルコフモデルによる歩行パターンからの目的地推定 - 推定結果評価手法の検討 -”, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 (ROBOMECH2007), 2P1-C10, 2007

- [30] 松原 正季, 富沢 哲雄, 嶋地 直広, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, “インテリジェント自動ドアのための LRF を用いた歩行者行動予測”, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), 1B3-3, 2010
- [31] 富沢 哲雄, 松原 正季, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, 嶋地 直広, “LRF を利用したインテリジェント自動ドア”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomec2011), 2P1-Q08, 2011.5
- [32] 大谷 洋介, 富沢 哲雄, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, “LRS を用いた移動体の進路予測”, 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), 3F2-3, 2012
- [33] 西田 大樹, 高井 和夫, 百鳥 達裕, 浅田 規裕, 森 利宏, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, 富沢 哲雄, “三次元レーザースキャナを用いたインテリジェント自動ドア”, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2013) , 3F2-3, 2013
- [34] D.Nishida, K.Tsuzura, S.Kudoh, K.Takai, T.Momodori, N.Asada, T.Mori, T.Suehiro, T.Tomizawa, “Development of Intelligent Automatic Door System”, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2014), WeD06.4, 2014
- [35] 赤松駿一, 嶋地直広, 富沢哲雄, “三次元レーザースキャナを用いた入退場者数カウンタ”, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014) , 3P1-03, 2014
- [36] Shun-ichi Akamatsu, Shimaji Naohiro, Tetsuo Tomizawa, “Development of a Person Counting System Using a 3D Laser Scanner”, Int’l Conf. on Robotics and Biomimetics(ROBIO2014), pp. 1983–1988, December2014
- [37] 扶桑電機工業株式会社 ドリーム自動ドア DC-70
<http://www.fusodenki.co.jp/contents/wp-content/themes/fusodenki/pdf/dream/catalog/catalogDC-70.pdf>

[38] 日本自動ドア株式会社 シャトルドア

http://www.jad.co.jp/product/option_shuttledoar.html

[39] 北陽電機, “測域センサ URG-LX30 仕様書”

発表論文リスト

1. D.Nishida, K.Tsuzura, S.Kudoh, K.Takai, T.Momodori, N.Asada, T.Mori, T.Suehiro, T.Tomizawa, “Development of Intelligent Automatic Door System”, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2014), 2014
2. 甘楽久美子, 工藤俊亮, 富沢哲雄, “インテリジェント自動ドアにおける適切な開きタイミングの検討”, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014) , 3P2-06, 2014